

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003 年 11 月 13 日 (13.11.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/093761 A1

(51) 国際特許分類: G01B 11/24, B21C 37/08

[JP/JP]; 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP03/05168

(22) 国際出願日: 2003 年 4 月 23 日 (23.04.2003)

(72) 発明者: および

(25) 国際出願の言語: 日本語

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 児玉 俊文 (KO-DAMA, Toshifumi) [JP/JP]; 〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 JFE 技研株式会社内 Kanagawa (JP). 鈴木 平 (SUZUKI, Taira) [JP/JP]; 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 3 号 JFE スチール株式会社内 Tokyo (JP). 虎尾 彰 (TORAO, Akira) [JP/JP]; 〒210-0855 神奈川県川崎市川崎区南渡田町 1 番 1 号 JFE 技研株式会社内 Kanagawa (JP). 竹村 泰昌 (TAKEMURA, Yasumasa) [JP/JP]; 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 3 号 JFE スチール株式会社内 Tokyo (JP). 岡部 能知 (OKABE, Takatoshi) [JP/JP]; 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 3 号 JFE スチール株式会社内 Tokyo (JP).

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2002-128497 2002 年 4 月 30 日 (30.04.2002) JP

特願 2002-251269 2002 年 8 月 29 日 (29.08.2002) JP

特願 2002-277802 2002 年 9 月 24 日 (24.09.2002) JP

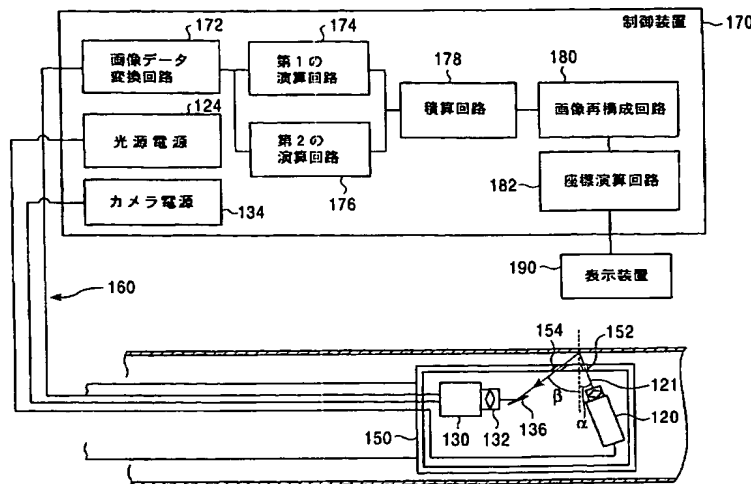
特願 2002-348649 2002 年 11 月 29 日 (29.11.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): JFE
スチール株式会社 (JFE STEEL CORPORATION)

[続葉有]

(54) Title: METHOD AND INSTRUMENT FOR MEASURING BEAD CUTTING SHAPE OF ELECTRIC WELDED TUBE

(54) 発明の名称: 電縫溶接管のビード切削形状の計測方法 および装置



170...CONTROLLER
190...DISPLAY
172...IMAGE DATA CONVERTING CIRCUIT
124...LIGHT SOURCE POWER SUPPLY
134...CAMERA POWER SUPPLY
174...FIRST OPERATING CIRCUIT
176...SECOND OPERATING CIRCUIT
178...INTEGRATING CIRCUIT
180...IMAGE RECONFIGURING CIRCUIT
182...COORDINATE OPERATING CIRCUIT

(57) Abstract: Method and instrument for measuring the bead cutting shape of an electric welded tube accurately without being affected by the difference in the luminance level of an optical cut image between a cut part and a uncut part. An optical cut image is displayed while being superposed on a thin-line image obtained by processing the optical cut image through a specified image processing means.

[続葉有]



(74) 代理人: 落合 憲一郎 (OCHIAI, Kenichiro); 〒100-0011
東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 3 号 JFEスチール株式会社 知的財産部内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CA, CN, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

規則4.17に規定する申立て:

— すべての指定国のための先の出願に基づく優先権を主張する出願人の資格に関する申立て (規則4.17(iii))

— すべての指定国のための先の出願に基づく優先権を主張する出願人の資格に関する申立て (規則4.17(iii))
— すべての指定国のための先の出願に基づく優先権を主張する出願人の資格に関する申立て (規則4.17(iii))

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

Profile of an electric welded tube is approximated by a quadratic function and a region including the coordinate at the apex of a bead is specified as the bead. Shape data of the tube surface at a part corresponding to the bead part is then determined from the boundary at the left and right ends of the bead part preset for the shape data of the tube surface including the bead part, and the apex position of the bead part calculated separate. Subsequently, the width, height and rising angle of the bead, and the level difference at the left and right boundary of the bead part and the bare tube part are calculated, respectively, based on the approximate function of the left and right bead shapes and the approximate function of the bare tube shape.

(57) 要約:

電縫溶接管のビード切削形状を、光切断像の切削部と非切削部における輝度レベルの違いの影響を受けることなく精度良く計測する。光切断像と、該光切断像を所定の画像処理手段により細線化後の像とを重ね合わせた画像を表示する。電縫溶接管のプロフィールを2次関数で近似してビード頂点の座標に含む領域をビードとして特定する。ビード部を含む管表面の形状データに対し、予め設定したビード部左右両端の境界と、別途算出したビード部の頂点位置とにより、ビード部に相当する部分の管表面の形状データを求め、左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記素管形状の近似関数とに基づいてビードの幅、高さ、立上がり角、ビード部と素管部の左右境界の段差をそれぞれ算出する。

明細書

電縫溶接管のビード切削形状の計測方法および装置

技術分野

本発明は電縫溶接管の溶接ビード切削形状の計測方法および計測装置に関する。
なお、本発明にいうビード形状にはビードの位置を含む。

背景技術

一般に、電縫溶接管、例えば電縫鋼管は、鋼板または鋼帯を管状に連続的に成形しながら、鋼帯両幅端を高周波誘導加熱圧接や抵抗加熱圧接等の手段で、鋼帯長手方向に連続的に突き合わせ溶接することによって製造されている。

この電縫溶接管の溶接部には、突き合わせ溶接により「ビード」と呼ばれる盛り上がりが管内面と管外面に生じる。通常このビードは製造ライン内で、溶接機よりも下流に設置された切削バイトにより鋼管長手方向に連続的に切削される。ビード部を切削除去した跡の管表面の形状（以下「ビード切削形状」という）は、理想的には溶接部以外の管の輪郭形状と一体化し、ビードがどこであったかわからなくなることが望ましい。これを達成するためには切削バイト先端を電縫溶接管表面の適切な位置に保持する必要がある。

従来、切削開始時に作業員が目視やマイクロメータ等でビード切削形状を測定して、切削バイトを最適位置に調整していた。しかし、何本もの電縫溶接管を製造するうちに、種々の理由から切削バイトの位置がずれたり、切削バイトの刃が欠けるなどして、製品電縫溶接管にビード削り残しや深削りなどの切削不良が発生する場合があった。このような切削不良は製品電縫溶接管の外観を損なうだけでなく、切削不良のある電縫溶接管をガスライン等の圧力のかかる配管に適用すると、管が破裂する危険がある。

従って、ビード切削形状を管の製造中に計測して監視し、その結果に応じて切削バイト位置を適宜修正したり交換する必要がある。

ビード切削形状の監視は、外から観察しやすい管外面であっても、作業員の目視観察に頼らざるを得ないため、精度や再現性に欠け、定量性や信頼性に問題があった。

管内面に関しては、ラインの構成上、製造中はビード切削部を直接観察することができない。そこでラインの最終位置において管を切断する工程において管端部を観察するか、又は運転を中断して管のビード位置の部分をガス溶断してサンプルを切出し、その内面を観察している。前者の方法では観察位置が切削位置より数十mm下流であるため、切削に異常が発生した場合、これを検知するまでに発生する不良管が長くなって歩留まりが低下するという問題があった。また、後者の方法では、ライン停止すると切削バイトが摩擦熱で焼き付くため、切削バイトを退避させなければならない。再び切削バイトを設定してラインの運転を再開しても、前に切削したビード切削形状と今回の切削形状の間に段差ができその部分は製品にならない。ラインを停止させることにより生産能率が低下する等の問題があった。両者とも製品長手方向の一部分しか検査できないため、製品全長の品質保証ができないという問題があった。

これらの問題を解決するため、光切断法を用いたビード切削形状計測方法が提案されている。光切断法の例は特開昭57-108705号公報や特公昭60-1138号公報に開示されている。図13に示すように、被測定物（電縫溶接管110）に光源120よりスリット光121を照射し、カメラ130で異なる角度から観察すると、被測定物110の表面形状にしたがって変形されたスリット像（光切断像）が観察される。この光切断像と観測光学系の幾何学的位置から物体形状が算出できる。観測光学系が単純であること、測定感度が観測光学系の幾何学的配置によって幅広く変化させられること、などの利点がある。ちなみにスリット光の照射領域から外れる領域のことを地合（ちあい）部という。

特開昭52-96049号公報には、切削しない溶接ビード部を光切断法で観察し、表示モニタ140に光学配置によって定まる拡大比に応じた目盛をつけるビード形状観察方法が提案されている。

しかし、これらの方法はいずれも計測画像を表示するだけである。ビード切削形状の判定はモニタ140を作業者が目視判定することで行っており、自動計測には至っていない。

自動計測のための定量方法としては、例えば、特許2618303号公報に開示のような技術がある。それによれば、電縫溶接管の溶接ビード切削後の形状を計測する際にスリット光とITVカメラによる光切断画像をもって鋼管ビード切削部の

映像を捕らえ、図 1 3 中に示すように、その断面形状映像を細線化处理（一面素が一方方向につながっている領域を細線に見たてること）して断面形状を算出し、その断面形状の輝度により切削部と非切削部を区別し、その区別した切削部中央値と切削部右端の値及び切削部左端の値とを求め、この三つの計測値をもとに切削深さ量や切削傾き量を算出するような方法が提案されている。

しかし、特許 2 6 1 8 3 0 3 号公報に開示の技術においては、細線化处理の具体的な方法として光切断画像から得られる管軸と平行な方向（Y 軸方向）の最大輝度を管周方向（素材鋼板や鋼帯にとってはその幅方向に相当するため以下幅方向と称す）に伸びる X 軸上の該当各座標に対しプロットするという具合に、輝度を直接 Y 軸座標に置き換える演算を行っているのみであるため、正確な断面形状が得られない場合がある、という問題点がある。

これについて詳述するが、発明者らが製造現場で実験を重ねた経験によると、切削直後の電縫溶接管の同部の表面は鏡面状態になっている一方で、周囲の非切削部は酸化膜等が付着していて黒っぽいために、スリット光の乱反射の度合いが異なる。このため、ビード切削部の光切断像の輝度は幅方向に同程度であるとは限らない。例えば図 1 4 のように切削部のスリット光はほとんど正反射（入射角と同じ角度で入射方向と正反対の方向に反射すること）してしまっていて、その輝度は非切削部の 10 分の 1 以下となる場合がある。入射角と受光角が異なっていると、このような正反射光は却って低輝度に見えるからである。

このような場合には光切断像はノイズに埋もれてしまい、ビード切削形状はうまく得られない。I T V カメラなどの観測光学系のゲインを高めるか露光時間を長くするなどして切削部の輝度を高めようとする、今度は図 1 の（C）のように非切削部が前述のカメラなどの観測光学系の仕様上の最大輝度を超えるレンジオーバー（ハレーション）を起こして正確な非切削部の形状を判別できなくなる。その理由は、このような輝度のレンジオーバーが発生した場合、光切断象中の非切削部では、最大輝度を示す管軸方向座標（Y 軸座標）が複数現れ、最大輝度を示す管軸方向座標（Y 軸座標）を一意に決定できないからである。

本発明は上記のような問題を解決するためになされたもので、電縫溶接管のビード切削形状を、光切断像の切削部と非切削部における輝度レベルの違いの影響を受けることなく精度よく計測する方法及び装置を提供することを目的とする。

このような光切断法におけるノイズの影響の抑止に関しては、従来、光切断法を用いる他の技術分野での提案が知られている。

特開昭 57-208404 号公報では、光切断像の上から下に縦方向に検索していった所定の設定値より大きな部分が最初に発生した区間内のみから光切断線を抽出し、以降その 1 本の走査線での光切断線の抽出を中止することにより、対象物上のスリット輝線位置以外の異常反射部を光切断線の一部として誤検出することを防止する方法を提案している。

また、特開平 2-35306 号公報では、採取した光切断画像を、光切断線を横切る方向に全域を走査し、その走査線上にノイズ画像によるピーク値を持つ場合には全画面の同一走査線上で検出された光切断線位置を基準として光切断探索範囲を設定しノイズ画像を無視する形状検出方法が提案されている。

また、特開平 4-240508 号公報においては、光切断像に基づいて測定対象物の座標を算出し、その像の形状が周囲の像と離れて存在する針状である場合には虚像と判定し、そのデータを無視して形状認識することを特徴とする三次元形状認識装置を提案している。

しかし、特開昭 57-208404 号公報に開示された方法においては、唯一の光切断抽出区間を識別するのに固定の閾値 V_1 を用いているために、採取画像中の光切断線の輝度が切削部・非切削部間で大きく変動する切削ビード形状の計測には適用不可能であるのはすでに説明したとおりである。

また、特開平 2-35306 号公報に開示された方法は、電子部品のはんだ付け部のように、長手方向に該均一なサイズをもつ凸形状をした部品がスリット光方向に等間隔に並んでいることが前提となっており、ノイズの発生は隣の部品からのスリット光の反射による 2 次光と説明されており、電縫溶接管の切削部で同様のノイズ発生状況が生成されることはないので、本発明の課題に適用不可であるのは明らかである。

また、特開平 4-240508 号に開示された技術では、切削段差が発生した切削ビードの光切断像は段差部分で光切断像が不連続になるといった状況下において、この段差部分を不連続像（虚像）と誤認識して無視してしまい、結果として切削不良の見逃しにつながる恐れがある、といった問題点があった。

つまり、本発明の属する技術分野においても、またその他の技術分野における光

切断法による形状認識技術の分野においても、光切断線の像と周囲とのS/Nが低下した場合であっても溶接ビード切削形状を正確に計測する方法は未だ見出されていない。

本発明は上記のような問題を解決するためになされたもので、光切断法による立体形状測定においてS/N比の低下に起因する画像処理異常部位を切削により生ずる段差部と容易に識別可能とする計測方法および計測装置を提供することを目的とする。

従来の鋼管溶接ビード検出方法あるいは装置に関する発明は、機械的方法、渦流センサーを用いた方法、光学的方法などが提案されている。

(特許文献1)

特公昭59-2593号公報

(特許文献2)

特開2000-176642号公報

(特許文献3)

特開平5-133940号公報

(特許文献4)

特開平5-18904号公報

(特許文献5)

特開平9-72851号公報

(特許文献6)

特開昭60-135705号公報

機械的方法としては、例えば特許文献1に、走行するパイプの外面溶接部の振れを接触式ローラーで検知する方法が提案されている。

また、渦流センサーを用いた方法としては、特許文献2において、同心円筒状に配置された送信コイルおよび受信コイルの内部で同心円の軸まわりを等速円運動する磁芯を設けた検出ヘッドを溶接ビード上方に立てて近接配置し、磁芯が溶接ビード上を通過する際の受信コイルのインピーダンス変化から磁芯の1回転あたり2回の通過タイミングを検出し、これらの通過タイミング相互間の所要時間を演算し比較することで、溶接ビード中心位置を検出する溶接ビードの中心位置検出方法が提案されている。

また、特許文献 3 においては、渦流センサーを略一方向に延在させる形で複数配置し、順次、励磁、被励磁、検出の役割を各渦流センサー間で切り換えていくことで被検体を走査し、検出波形からビード位置を検出する方法が提案されている。

また、光学的方法としては、特許文献 4 に開示されているような、管表面を撮像し、溶接部や母材部固有の信号波形特徴量を抽出して予め記憶してある特徴量と符合させることでそれらを識別する方法や、特許文献 5 に開示されているような、鋼管を周方向に回転させつつ管表面に扇状光を照射または点状光を走査した扇状光を照射しながら I T V カメラ等により管表面を撮像し、その映像信号をノイズ除去、傾き等修正した画像に修正処理した後、該画像に基づいて円弧当てはめ法により円弧を当てはめた円弧画像と実画像との差分を求め、その差分データが予め設定したしきい値を超えた場合に溶接ビードと判断するとともに、同時にそのしきい値を超えている範囲の幅を予め設定した溶接ビード幅の許容範囲と符号させることで当該溶接ビード位置とする、鋼管の溶接ビード検出方法が提案されている。

また、特許文献 6 においては、一般的な溶接ビード位置および形状の自動測定技術として、溶接ビードを上面および側面から撮像し、撮像部からのアナログ画像情報を灰調レベルのデジタル情報に変換し、このデジタル画像情報に基づいて溶接ビードの幅および高さ等を検出するビード形状自動測定装置が提案されている。

しかし、特許文献 1 に開示のような接触式ローラーによる方法の場合、ビードの高さが長手方向にほぼ一定でその凹凸が比較的急峻であることが必要であり、ビードの凹凸が非常に滑らかな場合やビードの高さが低い場合、ビードの高さが長手方向に一定でない場合などには正確な検出ができない。

また、特許文献 2 に開示の同心円筒状コイル内同心円運動磁心による方法の場合は、被検体である電縫溶接管の搬送中にシームねじれ部が検出装置位置を通過したり、あるいは蛇行が発生した場合に被検体である電縫溶接管と検出装置である同心円筒状コイルや同心円運動磁心との位置関係がずれてしまい、正確な溶接ビード位置の検出ができなくなる。

また、特許文献 3 に開示の励磁、被励磁および検出コイル略一方向複数配置法では、ビード以外に管表面に付着した異物や表面の凹凸などでも反応しやすいため誤検出を避けることが難しく、また電縫溶接管のような各種のサイズのものを対象とする場合、それらの形状の違いに合わせて複数の検出ヘッドを用意せねばならず、

装置の製作コストが増大する。

また、これらの渦流方式共通の問題として、位置検出を行った溶接ビードの形状を評価するには別途形状測定手段を設けねばならず、装置の製作コストが増大するという問題がある。

上記した種々の方法に比べ、特許文献 4 や、特許文献 5 に開示のような光学的方法では、非接触での検出が可能であり、ビードの位置検出だけでなく同一の装置構成でビード形状をも評価可能である等の利点がある。しかし、上記した従来の光学的方法においては、種々の問題があった。

即ち、特許文献 4 に開示の溶接部母材部特徴量抽出による方法においては、ビード部と他の部分（母材部：以降、素管部）の明るさの違いを検出する方法が主であるが、ビード部の明るさ（輝度）は溶接条件や素管の板厚に大きく依存するため、安定した検出が困難であるほか、特にビード部の輝度が低いとビードが識別できない場合がある、という問題があった。

また、特許文献 5 に開示の鋼管回転画像円弧当てはめによる方法では、鋼管を周方向に回転させる必要があるが、電縫鋼管の溶接段階では鋼管は母材である鋼帯と連続している場合が多く回転が不可能な問題があるほか、画像処理段階で 4 点のデータから 2 つの円弧を算出しているため、ノイズ処理を行ったとしても、一般に画像データに見られがちなぎざぎざ形状の影響を受けやすく、算出されるビード位置に誤差が発生しやすい問題もあり、さらに被検体である電縫溶接管の真円度は悪い場合が少なくなく、2 点の垂直二等分線上に管の中心部が存在するという円の幾何学上の性質を利用するこの方法では検出誤差の発生を抑えるのに限界がある、という問題があった。

また、特許文献 6 のカメラ撮像方法においては、ビード位置の特定方法として 1 ライン分画像濃淡が急激に変化する点を探索するものとしているため、ビード部の輝度が低い場合や、素管部の表面性状によってはビード位置を特定できない場合があるという問題があった。

さらに、これらの検出方法の他に、特許文献 5 中に記載されているとおり、当業者によっては、光切断法や光学的距離計測法によってビード位置を含む鋼管表面のプロフィールを計測し、そのプロフィールデータを処理することによりビード位置を検出する方法が容易に想起される。しかし、この場合、プロフィールデータを処

理する方法として、ビード部ではプロフィールに急激な変化が発生することを前提として何らかの微分処理を施すのが一般的であるが、近年の溶接技術の進歩でビードの立ち上がりは滑らかになってきている一方で、このような微分処理では光学的なプロフィール計測で発生しやすい微小なノイズが強調されてしまい、ビード位置の検出が逆に困難になる。

この発明は、以上説明してきたような従来技術の問題を解決するためになされたもので、スリット光あるいは点状光走査により検出される所謂光切断法による電縫溶接管の形状データから、輝度やプロフィールデータのノイズの影響を受けることなくビード形状を正確に検出できる方法及び装置を提供することを目的とする。

また、光学的な方法としては、特許文献7に開示されているように、ビードカット前の、移動中の素管にスリット光を照射して得られる光切断プロフィールを光学的に受像し、得られた光切断プロフィール受像信号から溶接部のビードの幅と高さを検出し、かくして得られたビードの幅と高さの検出値に基づいて溶接部のメタルフロー角度を演算する、電縫溶接管のメタルフロー角度測定方法が提案されている。

(特許文献7)

特公昭60-7586号公報

また、特許文献8においては、ビードカット前の、移動中の素管の溶接部にスリット光を照射して得られる光切断プロフィールを光学的にそれぞれ受像し、得られた光切断プロフィール受像信号から前記溶接部のビードの立上り位置を基準とする前記ビードの最大高さの $3/4 \sim 1/3$ の範囲内の所定高さに該当する前記ビードの表面位置を検出し、かくして得られた前記所定高さに該当する前記ビードの表面位置における前記立上り位置からの水平距離と前記所定高さとに基づいて、前記溶接部のメタルフロー角度を演算する、電縫溶接管の溶接部メタルフロー角度測定方法が提案されている。

(特許文献8)

特公昭60-25234号公報

しかし、特許文献1に開示のような接触式ローラーと速度計を併用した場合、ビードの高さが長手方向にほぼ一定でその凹凸が比較的急峻であることが必要であり、ビードの凹凸が非常に滑らかな場合やビードの高さが低い場合、ビードの高さが長手方向に一定でない場合などには正確な検出ができないという問題があった。

また、特許文献 7 においては、溶接ビードの形が台形であるとみなして、その幅と高さの比とメタルフロー角度の関係が実験式に基づく形状指数演算回路によって算出されることになっているが、近年の溶接技術の進歩によりビードの立上がり角度は小さくなっており、また板厚や用途などによっても最適とされる立上がり角度が変化するので、それぞれの場合に検量線を実験的に求め切り替えて運用するのは非常に煩雑になる、という問題があった。

また、特許文献 8 においては、前述の問題に加えて、ビードの高さの $3/4$ 、 $1/3$ のビード幅の情報を利用しているために、ビードの形状が三角形や台形から外れた形状の場合、例えば、高さの $1/3 \sim 3/4$ の部分が垂直である場合には、メタルフロー演算の分母がゼロとなって演算結果が異常になってしまう、という問題があった。

また、溶接ビード部を含む管の横断方向（軸と垂直方向の）形状を検出し、その微分値によってビード位置や立上がり角度を算出する方法も考えられるが、このような方法では、検出した形状データにノイズが乗っている場合に、微分演算によりそれが強調され、ビード形状の誤検出や立上がり角算出の誤差が大きくなってしまいう、という問題があった。

この発明は、以上説明してきたような従来技術の問題を解決するためになされたもので、光切断法により検出される電縫溶接管の形状データから、精度よくビード形状を検出することを課題とするものである。

発明の開示

請求項 1 の発明は、電縫溶接管の溶接部に生成された管内面あるいは外面のビードを切削した後の形状を計測する電縫溶接管のビード切削形状の計測方法において、前記ビード部に照射したスリット光の像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる光切断画像に対して、該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度および前記スリット光の照射領域から外れる地合部領域の最大輝度をそれぞれ求め、前記管軸方向の最大輝度と地合部領域の最大輝度を予め定めた比で内分して得られる輝度を閾値とし、該閾値より大である輝度およびそれを示す管軸方向座標の加重平均を当該幅方向座標、管軸方向座標における疑似断面方向座標とし、該疑似断面方向座標を幅方向に連ねて得られる疑似断面形状と、前記スリット光の光源、前記撮像手段および電縫溶接管の幾何学的位

置関係から決まる所定の変換式に基づいて前記電縫溶接管のビード切削形状を算出することを特徴とする、電縫溶接管のビード切削形状の計測方法により前記目的を達成したものである。

請求項 2 の発明は、電縫溶接管の溶接部に生成された管内面あるいは外面のビードを切削した後の形状を計測する電縫溶接管のビード切削形状の計測方法において、前記ビード部に照射したスリット光の像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる光切断画像に対して、該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度が所定の固定閾値以上である場合は、それを示す管軸方向座標の加重平均を当該幅方向座標、管軸方向座標における擬似断面方向座標とし、前記最大輝度が前記所定の固定閾値を下回る場合は、該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度および前記スリット光の照射領域から外れる地合部領域の最大輝度をそれぞれ求め、前記管軸方向の最大輝度と地合部領域の最大輝度を予め定めた比で内分して得られる輝度を閾値とし、該閾値より大である輝度およびそれを示す管軸方向座標の加重平均を当該幅方向座標、管軸方向座標における擬似断面方向座標とし、該擬似断面方向座標を幅方向に連ねて得られる擬似断面形状と、前記スリット光の光源、前記撮像手段および電縫溶接管の幾何学的位置関係から決まる所定の変換式に基づいて前記電縫溶接管のビード切削形状を算出することを特徴とする、電縫溶接管のビード切削形状の計測方法により前記目的を達成したものである。

請求項 3 の発明は、切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、該撮像手段の出力する光切断画像に対して、該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度および該最大輝度となる管軸方向座標を算出する第 1 の演算回路と、ある幅方向座標における前記管軸方向の最大輝度となる管軸方向座標から所定の画素数以上外れた地合部の最大輝度を算出する第 2 の演算回路と、前記第 1 の演算回路および第 2 の演算回路の出力から所定の演算式に従って算出される閾値より輝度が大である輝度およびそれを示す管軸方向座標の加重平均を算出する積算回路と、上記のように算出した管軸方向座標の加重平均を幅方向に連ねて擬似断面形状を生成する画像再構成回路と、前記スリット光源、前記撮像手段および前記電縫溶接管の幾何学的位置関係から決まる所定の変換式に基づいて前記電縫溶

接管のビード切削形状を算出して表示する座標演算回路とを備えたことを特徴とする、電縫溶接管のビード切削形状の計測装置により前記目的を達成したものである。

請求項 4 の発明は、切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、該撮像手段の出力する光切断画像に対して、該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度および該最大輝度となる管軸方向座標を算出する第 1 の演算回路と、前記のある幅方向における管軸方向の最大輝度が所定の固定閾値以上か否かを判定する分岐回路と、ある幅方向座標における前記管軸方向の最大輝度となる管軸方向座標から所定の画素数以上外れた地合部の最大輝度を算出する第 2 の演算回路と、前記のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度と地合部の最大輝度を予め定めた比で内分して得られる閾値より大である管軸方向座標の加重平均を算出する第 1 の積算回路と、前記所定の固定閾値以上の輝度およびそれを示す管軸方向座標の加重平均を算出する第 2 の積算回路と、上記のように算出した第 1 の積算回路および第 2 の積算回路の出力を、前記分岐回路の出力に従って選択し幅方向に連ねて擬似断面形状を生成する画像再構成回路と、前記スリット光源、前記撮像手段および前記電縫溶接管の幾何学的位置関係から決まる所定の変換式に基づいて前記電縫溶接管のビード切削形状を算出して表示する座標演算回路と、を備えたことを特徴とする、電縫溶接管のビード切削形状の計測装置により前記目的を達成したものである。

請求項 5 の発明は、電縫溶接管の溶接部に生成された管内面あるいは外面のビード位置に照射したスリット光の像である光切断像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる光切断画像に所定の画像処理を施すことにより該電縫溶接管のビード形状を算出する電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測方法において、該光切断像と該光切断像を所定の画像処理手段により細線化後の光切断像とを重ね合わせた画像を表示するようにしたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測方法である。

請求項 6 の発明は、請求項 5 の発明において、細線化後の光切断像の各画素の色を、該画素に対応する光切断画像上の光切断像の輝度および該スリット光から外れた領域の最大輝度との比から定まる S N 比に応じた色で着色して表示するようにしたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード形状計測方法である。

請求項 7 の発明は、請求項 5 の発明において、照射したスリット光の像である光切断像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる光切断像に対して該光切断像を適切な画像処理手段により細線化後の光切断像の各画素の色を、該画素に対応する光切断画像上の光切断像の輝度および該スリット光から外れた領域の最大輝度との比から定まる S N 比に応じた色で分類して着色し、前記光切断像と重ね合わせて画像表示するようにしたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード形状計測方法である。

請求項 8 の発明は、切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、前記撮像手段の出力する光切断画像に対して、スリット光の像を 1 本の画素で表示するように処理する細線化処理回路と、該光切断画像と前記細線化結果を同一画像上に重ね合わせる画像合成回路と、を備えたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測装置である。

請求項 9 の発明は、切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、前記撮像手段の出力する光切断画像に対して、スリット光の像を 1 本の画素で表示するように処理する細線化処理回路と、前記細線化した光切断線の各画素の色を、該画素の対応する光切断画像上のスリット光画像の輝度と該スリット光からはずれた領域の最大輝度の比から定まる S N 比に応じて着色する細線変換回路と、を備えたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測装置である。

請求項 10 の発明は、請求項 9 において、切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、前記撮像手段の出力する光切断画像に対して、スリット光の像を 1 本の画素で表示するように処理する細線化処理回路と、前記細線化した光切断線の各画素の色を、該画素の対応する光切断画像上のスリット光画像の輝度と該スリット光からはずれた領域の最大輝度の比から定まる S N 比に応じて着色する細線変換回路と、前記光切断画像と前記細線変換回路が出力する彩色された細線化結果を同一画像上に重ね合わせる画像合成回路と、を備えたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測装置である。

請求項 11 の発明は、電縫溶接管の溶接部にスリット光を照射あるいは点状光を

走査し、溶接部表面に照射されたスリット光の像あるいは走査された点状光の軌跡の像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる画像に所定の画像処理を施す光切断法により該電縫溶接管のビード形状を検出する電縫溶接管のビード形状検出方法において、電縫溶接管のプロフィールから所定の算出式により仮のビード頂点の座標を算出し、該電縫溶接管のプロフィールを2次関数で近似して第1の近似曲線を求め、該電縫溶接管のプロフィールと前記第1の近似曲線との前記仮のビード頂点を挟んだ2つの交点の座標を算出し、前記仮のビード頂点の座標と前記仮のビード頂点を挟んだ2つの交点の座標とから所定の算出式によりビードの仮の存在範囲を算出し、前記電縫溶接管のプロフィールから前記ビードの仮の存在範囲を除いた素管部形状を2次以上の偶数次多項式で近似して第2の近似曲線を求め、前記電縫溶接管のプロフィールと前記第2の近似曲線の偏差が所定の閾値より大となる領域のうちで、前記仮のビード頂点の座標を含む領域をビードとして特定することを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出方法であり、

請求項12の発明は、電縫溶接管の溶接部にある角度を以ってスリット光を照射あるいは点状光を走査する投光手段と、前記投光手段が溶接部に照射された像を、前記ある角度と異なる角度から撮像する撮像手段と、前記撮像手段により得られる画像に所定の画像処理を施すことにより該電縫溶接管のプロフィールを算出するプロフィール算出手段と、該電縫溶接管のプロフィールから所定の算出式により仮のビード頂点の座標を算出する仮頂点算出手段と、該電縫溶接管のプロフィールを2次関数として所定の回帰式により近似する第1の回帰演算手段と、前記第1の回帰演算手段の出力と、前記プロフィール算出手段の出力とから前記仮のビード頂点を挟んだ2つの交点の座標を算出する交点算出手段と、前記交点の座標と前記仮のビード頂点の座標とから所定の算出式によりビードの仮の存在範囲を算出する第1の範囲算出手段と、前記のようにして算出したビードの仮の存在範囲を除いた範囲の電縫溶接管のプロフィールを2次以上の偶数次多項式で近似する第2の回帰演算手段と、前記第2の回帰演算手段の出力と前記電縫溶接管のプロフィールとの偏差が所定の閾値より大となる領域のうちで、前記仮のビード頂点の座標を含むものを溶接ビードの範囲として出力する第2の範囲算出手段と、を備えたことを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出装置である。

請求項 13 の発明は、電縫溶接管の溶接によるビード部を含む管表面にスリット光を照射あるいは点状光を走査し、前記ビード部を含む管表面に照射されたスリット光の像あるいは走査された点状光の軌跡の像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像して得られる画像に所定の画像処理を施すことにより該電縫溶接管のビード形状を検出する電縫溶接管のビード形状検出方法において、画像処理の結果算出したビード部を含む管表面の形状データに対し、予め設定したビード部左右両端の境界と、別途算出したビード部の頂点位置とにより、ビード部に相当する部分の管表面の形状データを求め、該ビード部に相当する部分の管表面の形状データを左右 2 つの領域に分け、左右それぞれの形状データについて、関数により近似して左右それぞれのビード形状の近似関数を求め、さらに、ビード部を含む管表面の形状データからビード部に相当する部分の管表面の形状データを除いた素管形状データについて、関数により近似して素管形状の近似関数を求め、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記素管形状の近似関数とに基づいて、少なくともビードの幅、高さ、立上がり角、ビード部と素管部の左右境界の段差のいずれか一つを算出することにより前記課題を解決したものである。

請求項 14 の発明は、請求項 13 の発明において、前記左右それぞれのビード形状の近似関数を、2 つ以上の相異なる傾きをもつ直線を連結した関数とし、各連結点の位置、それぞれの直線の傾きと切片をパラメータとして、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記ビード部を含む管表面の形状データとの誤差とを最小とするように算出することを特徴とするものである。

請求項 15 の発明は、請求項 13 又は 14 の発明において、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記素管形状の近似関数との交点をビード部両端の境界として算出し、それに基づいて、少なくともビードの幅、立上がり角およびビード部と素管形状の左右境界の段差のいずれか一つを算出するようにしたものである。

請求項 16 の発明は、請求項 13 乃至 15 のいずれかの発明において、前記ビード部の頂点の電縫溶接管横断方向位置における、前記ビード形状の近似関数の値と、前記素管形状の近似関数の値との差をビード高さとして算出することを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード高さ検出方法を提供するものである。

請求項 17 の発明は、請求項 13 乃至 15 のいずれかの発明において、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記素管形状の近似関数との交点をビード部

両端の境界として算出し、算出した交点の電縫溶接管横断方向位置における、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と前記素管形状の近似関数の微分係数をそれぞれ算出し、それに基づいて左右ビードの立上がり角をそれぞれ算出することを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビードの立上がり角検出方法を提供するものである。

請求項 18 の発明は、電縫溶接管の溶接部を含む管表面にスリット光を照射あるいは点状光を走査する投光手段と、前記投光手段から前記溶接部を含む管表面に照射された像を前記投光手段と異なる角度から撮像する撮像手段と、前記撮像手段により得られる画像に所定の画像処理を施すことにより該電縫溶接管のビード形状を算出するビード形状算出手段と、前記ビード形状算出手段により算出されたビード形状データに基いて、ビードの頂点位置およびビード部とビード部を除いた素管部との境界位置をそれぞれ算出する頂点位置設定回路およびビード範囲設定回路と、前記頂点位置設定回路およびビード範囲設定回路の出力する頂点位置および該頂点位置を挟んだ左右の境界位置に基いて、左右それぞれのビード形状の近似関数を算出するビード形状近似回路と、前記ビード範囲設定回路の出力する左右の境界位置より外側の素管形状データに基いて、素管形状の近似関数を算出する素管形状近似回路と、前記ビード形状近似回路が出力する左右それぞれのビード形状の近似関数と、素管形状近似回路が出力する素管形状の近似関数との交点を、左右の境界位置として再設定するビード範囲再設定回路と、前記ビード範囲設定回路、ビード形状近似回路、素管形状近似回路のそれぞれの出力に基づいて、少なくともビードの幅、高さ、立上がり角、ビード部と素管部の左右境界の段差のいずれか一つを算出する特徴量算出回路と、を備えたことを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出装置を提供するものである。

図面の簡単な説明

図 1 は本発明の作用を示す図である。

図 2 は本発明の第 1 実施形態にかかる光切断線の算出方法を示すフローチャートである。

図 3 は本発明の第 2 実施形態にかかる光切断線の算出方法を示すフローチャートである。

図 4 は本発明にかかる電縫溶接管のビード切削形状計測装置を備えた内面ビードト

リマーを示した概略図である。

図 5 は本発明にかかるビード切削形状計測装置の要部の構成を示すブロック図である。

図 6 は本発明の実施例 1 にかかる電縫溶接管のビード切削部の光切断画像計測例を示す図である。

図 7 は図 6 の測定画像に対して実施例 1 の画像再構成回路が出力する、電縫溶接管のビード切削形状を示す図である。

図 8 は別な電縫溶接管製造時に実施例 1 の出力に形状異常が観察された例を示す図である。

図 9 は図 8 に相当する管内位置のビード切削部をサンプル採取し、そのビード切削形状をオフライン計測した結果を示す図である。

図 10 は本発明の実施例 2 にかかるビード切削形状計測装置の要部の構成を示すブロック図である。

図 11 は同じく電縫溶接管のビード切削部の光切断画像測定結果を示す図である。

図 12 は図 11 の画像に対し、実施例 2 の画像再構成回路が出力する、電縫溶接管のビード切削形状を示す図である。

図 13 は光切断法の原理を説明する概略図である。

図 14 は光切断法により電縫溶接管のビード切削部を計測した場合に、光切断画像の一部の輝度が著しく低下している例を示す図である。

なお、図 1 から図 14 の中で使用される符号の意味は次のとおりである。

1 1 0 ... 電縫溶接管	1 1 2 ... ビードトリマー	1 1 4 ... 切削バイト
1 1 6 ... 支持アーム	1 2 0 ... 光源	1 2 4 ... 光源電源
1 3 0 ... カメラ	1 3 2 ... レンズ	1 3 4 ... カメラ電源
1 3 6 ... 反射鏡	1 5 0 ... 測定ヘッド	1 5 2、1 5 4 ... 窓
1 6 0 ... ケーブル	1 7 0 ... 制御装置	1 7 2 ... 画像データ変換回路
1 7 4 ... 第 1 の演算回路		1 7 6 ... 第 2 の演算回路
1 7 8 ... 積算回路	1 8 0 ... 画像再構成回路	1 8 2 ... 座標演算回路
1 8 4 ... 分岐回路	1 8 6 ... 第 2 の積算回路	1 9 0 ... 表示装置
1 9 2 ... 記録装置		

図 15 は本発明にかかる電縫溶接管のビード切削形状計測装置を備えた内面ビード

トリマーを示した概略図である。

図 1 6 は本発明にかかるビード切削形状計測装置の要部の構成を示すブロック図である。

図 1 7 は本発明の実施例 1 にかかる電縫溶接管のビード切削部の光切断画像計測例を示す図である。

図 1 8 は電縫溶接管のビード切削部の光切断画像を細線化処理した画像例を示す図である。

図 1 9 は画像合成回路が出力する画像例を示す図である。

図 2 0 は本発明の実施例 2 にかかるビード切削形状計測装置の要部の構成を示すブロック図である。

図 2 1 は電縫溶接管のビード切削部の光切断画像計測例を示す図である。

図 2 2 は電縫溶接管のビード切削部の光切断画像を細線化処理した画像例を示す図である。

図 2 3 は細線変換回路が出力する画像例を示す図である。

図 2 4 は本発明の実施例 3 にかかるビード切削形状計測装置の要部の構成を示すブロック図である。

図 2 5 は電縫溶接管のビード切削部の光切断画像計測例を示す図である。

図 2 6 は電縫溶接管のビード切削部の光切断画像を細線化処理した画像例を示す図である。

図 2 7 は同じく画像合成回路が出力する画像例を示す図である。

図 2 8 は光切断法の原理を説明する概略図である。

図 2 9 は光切断法により電縫溶接管のビード切削部を計測した場合に、光切断画像の一部の輝度が著しく低下している例を示す図である。

図 3 0 は切削部の輝度を高めた場合に、非切削部にハレーションが発生している例を示す図である。

なお、図 1 5 から図 3 0 の中で使用される符号の意味は次のとおりである。

2 1 0 ... 電縫溶接管	2 1 2 ... ビードトリマー	2 1 4 ... 切削バイト
2 1 6 ... 支持アーム	2 2 0 ... 光源	2 2 4 ... 光源電源
2 2 5 ... カメラ電源	2 3 0 ... カメラ	2 3 2 ... レンズ
2 5 0 ... 測定ヘッド	2 5 2, 2 5 4 ... 窓	2 7 0 ... 制御装置

2 7 2 ... 画像データ変換回路 2 7 5 ... 細線化処理回路
2 7 7 ... S N 比検出回路 2 8 1 ... 画像合成回路
2 8 8 ... 細線変換回路 2 9 0 ... 表示装置

図 3 1 は本発明にかかる電縫溶接管の溶接ビード検出装置の要部の構成を示す概略図である。

図 3 2 はプロフィールデータ処理装置を構成する演算回路群の構成を示すブロック図である。

図 3 3 は電縫溶接管のビード付近の光切断画像の例を示す図である。

図 3 4 は電縫溶接管のビード付近の光切断画像を細線化処理したプロフィールデータを示す図である。

図 3 5 は第 1 の回帰演算回路が出力する、プロフィールデータ全体に対する回帰演算で算出した 2 次関数の第 1 の近似曲線の様子を示す図である。

図 3 6 は第 2 の回帰演算回路が算出した、第 1 の範囲算出回路の範囲に対して最小 2 乗回帰演算の結果得られた 4 次関数の第 2 の近似曲線の様子を示す図である。図

3 7 は偏差算出回路が算出した、前記の 4 次関数とプロフィールデータとの偏差 $e(x)$ のプロット図である。

図 3 8 は本実施例と、同一光学系配置で溶接ビードの実体を撮影した写真を比較して示す図である。

図 3 9 は楕円の上半分の曲線を 2 次、4 次、6 次、8 次の多項式で回帰した場合の多項式の次数と近似誤差の RMS（二乗平均の平方根）の関係を示した図である。

なお、図 3 1 から図 3 9 の中で使用される符号の意味は次のとおりである。

3 0 1 ... 投光手段	3 0 2 ... 撮像手段	3 0 3 ... プロフィール算出装置
3 0 4 ... プロフィールデータ処理装置	3 1 0 ... 仮頂点算出回路	
3 1 1 ... 第 1 の回帰演算回路	3 1 2 ... 交点算出回路	
3 1 3 ... 第 1 の範囲算出回路	3 1 4 ... 第 2 の回帰演算回路	
3 1 5 ... 偏差算出回路	3 1 6 ... 第 2 の範囲算出回路	
3 2 0 ... 電縫溶接管	3 2 1 ... ビード	

図 4 0 は本発明にかかる電縫溶接管のビード形状検出装置の要部の構成を示す概略図である。

図 4 1 はビード形状算出手段を構成する回路群の構成を示すブロック図である。図 4 2 はビード部を含む電縫溶接管表面の光切断画像の例を示す図である。

図 4 3 は本発明にかかる光切断画像を細線化処理したビード部を含む電縫溶接管表面の形状データを示す図である。

図 4 4 は図 4 3 のビード部を含む管表面の形状データのうちの頂点位置よりも左側の形状データに関して、各 x_p と上記近似誤差 $E(x_p)$ の関係をプロットした図である。

図 4 5 は円の上半分の曲線を 2 次、4 次、6 次、8 次の多項式で回帰した場合の多項式の次数と近似誤差の RMS（二乗平均の平方根）の関係を表した図である。

図 4 6 は本発明にかかるビード形状検出方法の実施例において、ビード形状近似回路が算出した左右のビード形状の近似関数 $f_L(x)$ 、 $f_R(x)$ 、および素管形状近似回路が算出した素管形状の近似関数 $f_p(x)$ を、ビード部を含む管表面の形状データとともにプロットした図である。

なお、図 4 0 から図 4 6 の中で使用される符号の意味は次のとおりである。

4 0 1 ... 投光手段（光源）	4 0 2 ... 撮像手段（カメラ）
4 0 3 ... ビード形状算出手段	4 0 4 ... データ処理装置
4 0 5 ... 表示装置	4 1 0 ... 頂点位置設定回路
4 1 1 ... ビード範囲設定回路	4 1 2 ... ビード形状近似回路
4 1 3 ... 素管形状近似回路	4 1 4 ... ビード範囲再設定回路
4 1 5 ... 特徴量算出回路	4 2 0 ... 電縫溶接管
4 2 1 ... 溶接ビード	

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

光切断像を CCD カメラのような二次元撮像手段で撮像した場合を考えると、地合部とスリット光の照射領域とを併せた領域が表示画面に表示されることが想定される。これを以下、光切断画像、と称することにとすると、該光切断画像中、図 1 の（a）のような二次元メッシュの表示画像としてスリット光照射域の光切断像が捕

らえられる。図 1 の (a) 中、二次元メッシュで仕切られる左下隅の画素の更に左下隅のコーナーを原点とし、幅方向に X 軸、管軸方向に Y 軸をとると、前述の左下隅の画素につき、対角線中心を代表点とすることができ、その座標を $X = X_1$ 、 $Y = Y_1$ と定める。すると、各画素は、その座標を $X = X_i$ 、 $Y = Y_j$ と定めることができる。

前述の光切断画像には、地合部も含めてスリット光照射域の光切断像が表示されており、該光切断画像中、X 座標 $X = X_i$ 、Y 座標 $Y = Y_j$ に代表されるある画素につき、その画素での輝度が $I(X_i, Y_j)$ であったとする。

ここで次式のように定義される Y 座標 Y_j と輝度 $I(X_i, Y_j)$ の加重平均 $S(X_i)$ を、 $X = X_i$ における光切断線の Y 座標とする。

$$S(X_i) = \sum Y_j \cdot I(X_i, Y_j) / \sum I(X_i, Y_j)$$

ここでもし、スリット光の照射領域から外れる、図 1 中でいえば (b) 中に示す地合部に、間接反射光や背光などの外乱成分があるとその成分も加算されて誤差となるが、光切断画像において Y 軸方向で輝度最大になるのはスリット光照射域であり、その Y 方向の広がりはずかたで、その広がりも予めわかる。よって、スリット光照射域から外れる領域の Y 座標の範囲はノイズとみなすことができる。

そこで、次に述べる (1) ~ (3) の手順により、各 X 座標において、光切断線の Y 座標を求めるようにする。

(1) Y 軸方向の最大輝度となる Y 座標 (複数存在する場合はその平均値) Y_0 とその点での輝度 I_0 を求める。

(2) 予め定めた画素数 N_w を用い $0 \leq Y \leq Y_0 - N_w \Delta Y$ 、 $Y_0 + N_w \Delta Y \leq Y \leq Y_n$ (Y_n は光切断画像の Y 方向端の画素の代表点の Y 座標。 ΔY は一画素の Y 方向長さ) の範囲の最大輝度 I_1 を求める。

(3) I_0 と I_1 の間の適切な値 (たとえば平均値 $(I_0 + I_1) / 2$) を閾値 J_1 とし、Y 方向の画素輝度が J_1 より大なる Y の範囲において $S(X_i)$ を算出する。

(4) 管軸方向へのスリット光照射域の相対移動に伴い、上記 (1) ~ (3) の手順を繰り返す。

以上のような第 1 の実施の形態にかかる光切断線の Y 座標の算出方法の手順をまとめてフローチャートに示すと図 2 に示すようになり、このような演算によって、

電縫溶接管のビード切削形状の光切断画像を、光切断像の切削部と非切削部における輝度レベルの違いの影響を受けることなく精度よく計測することができる。

また、更に非切削部の反射光強度が、図1の(a)の白抜きで示したようなハレーションを起こしているような場合、即ち計測輝度でいえばそれが図1の(c)に相当する、レンジオーバーを起こすほど十分高い場合や、地合部からのノイズは無視できるほど小さい場合には、そのような反射光強度が高い領域の断面線算出を所定の固定閾値J2に置き換えてもよい。つまり上記の手順の替わりに次のようにしてもよい。

(1) Y軸方向の最大輝度となるY座標(複数存在する場合はその平均値)Y0とその点での輝度I0を求める。

(2) 予め定めた画素数 N_w を用い $0 \leq Y \leq Y0 - N_w \Delta Y$ 、 $Y0 + N_w \Delta Y \leq Y \leq Yn$ (Ynは光切断画像のY方向端の画素の代表点のY座標。 ΔY は一画素のY方向長さ)の範囲の最大輝度I1を求める。

(3) I0が所定の固定閾値J2以上の場合は、 $X = Xi$ におけるY軸方向において画素輝度がJ2以上となるYの範囲においてS(Xi)を算出する。

この場合において、J2は輝度のレンジの最大値に設定してもよいし、経験的に地合部の最大輝度以下とならない範囲で輝度のレンジの最大値よりも多少小さめに設定してもよい。

(4) I0がJ2を下回る場合は、I0とI1の間の適切な値(たとえば平均値 $(I0 + I1) / 2$)を閾値J3(第1の実施の形態でいえばJ1に相当)とし、Y方向の輝度がJ3より大なるYの範囲においてS(Xi)を算出する。

(5) 管軸方向へのスリット光照射域の相対移動に伴い、上記(1)～(4)の手順を繰り返す。

このような第2の実施の形態にかかる光切断線の位置の算出方法の手順のフローチャートは図3に示すようになり、このような演算によって、電縫溶接管のビード切削形状の光切断画像を、光切断像の切削部と非切削部における輝度レベルの違いの影響を受けることなく精度よく計測することができる。

さて、光切断法を用い、上記のように算出した、いわば擬似断面形状ともいうべき電縫溶接管上へのスリット光の照射像を、スリット幅方向(管軸方向)の加重平均で代表させた、光切断線のX座標、Y座標は、光切断画像の画素アドレスであり

、上記した2つの実施の形態の例では、光切断画像左下隅を原点(0, 0)とする2つの値の組となるが、これを電縫溶接管のビード切削形状の真の断面形状の実寸に変換することは容易である。

即ち、管軸および幅方向の両方と垂直な方向を0°とする方向角定義のもとで、光源の入射角を α 、撮像手段の受光角を β とし、かつ光源がスリット光であり、撮像手段がカメラである場合、スリット光の光軸とカメラの光軸がつくる平面は撮像位置における電縫溶接管の接平面と垂直になるように配置されている場合、幾何学上の公式により、画像上の断面位置(x_i, y_j)は、次式

$$x_i = X_i$$

$$y_j = \Delta Y \times Y_j \times \cos \alpha / \sin(\alpha + \beta)$$

により電縫溶接管のビード切削形状の真の断面形状の実寸の座標(x_i, y_j)に変換できる。 ΔY は一画素のy方向の長さである。

または、上記の式のかわりに寸法が既知のサンプルを撮像して(X_i, Y_j)から(x_i, y_j)への変換係数を調整したものを用いてもよい。

電縫溶接管製造において、切削前の溶接ビードの幅は、管の外径の1/10～1/5程度であり、溶接ビードのある位置は予め概略知る事ができる。その理由は、一般的な電縫溶接管製造ラインでは母材である鋼帯等の金属帯コイルの巻き出しから管の成型および溶接までは材料である金属帯が連続していて成型ロール等でその位置や向きが拘束されているため、管の水平方向の移動(パスラインの変動)、捻れ等が発生したとしても、それは高々ビード幅と同程度にしかならないからである。ここにおいてビード部は管周上どの位置にあっても良いが、以下では簡便のため略頂上部付近にあるものとする。勿論この仮定によって一般性は何ら失われない。

ここにおいて、ビード部を含み、ビード幅より十分広い範囲の管形状(以下電縫溶接管のプロフィール)を適切な方法で検出し、検出された電縫溶接管のプロフィールを2次関数で近似すれば、その近似曲線は素管部だけでなく上に凸なビード部の形状を同時に近似しようとするため、素管部のプロフィールより上、ビード部の頂点部分より下を通る曲線となる。この曲線を第1の近似曲線とする。ここで、ビード部の概略の頂点位置 X_c を別な手法で求め、その概略の頂点位置から左右に探索して第1の近似曲線と電縫溶接管のプロフィールが交差する点 X_l, X_r を求め、 X_l, X_r および X_c の座標から概略のビード範囲 $R(X_l' \sim X_r')$ を求めるこ

とができる。

ここで、第1の近似曲線を2次関数に限定しているが、これは、管の形状はビード部の頂点に関して実質的に左右対称であるから偶数次多項式等の偶関数で近似すればよいところ、4次以上の多項式で近似した場合、近似曲線に変曲点が発生してビード部が強調されてしまい、素管部との交点算出に好ましくない影響が出るため、これを避けるというのがその理由である。

そして、幅方向座標（X座標）においてRを除いた範囲のプロフィールを2次以上の偶数次多項式にて近似すれば、素管部形状をかなり良い精度で近似することができる。これを第2の近似曲線とする。

この根拠となるのは図39のグラフであり、これは楕円の上半分の曲線を2次、4次、6次、8次の多項式で回帰した場合の多項式の次数と近似誤差のRMS（二乗平均の平方根）の関係を表しており、2次以上の偶数次多項式、好適には4次以上の偶数次多項式により、楕円の形状を十分な精度で回帰できることを示す。

この性質を利用して、十分な精度で近似された素管部のプロフィールとビード部も含んだ電縫溶接管のプロフィールを比較して、その偏差がある閾値より大きくなる範囲のうち、ビード頂点の座標を含む領域を、ビードとして特定することができる。

以上の演算においては、近似曲線として多項式を用いたので、最小二乗法を用いれば、回帰演算は加算、乗算および行列演算のみで行うことができる。つまり、従来技術で問題であった真円の仮定や微分演算等を何ら用いないため、ノイズの影響を受けず、また、ノイズ除去のための移動平均や座標毎のノイズデータ除去作業等の手間のかかる処理も不要である。

実施例

以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

（実施例1）

図4は、電縫溶接管110の内面ビードトリマー112周辺を示したものであり、図4において114が切削バイト、116が支持アーム、150が本発明によるビード切削形状計測装置の測定ヘッド、170が制御装置、190が表示装置、そして192が記録装置である。

前記測定ヘッド150は、切削バイト114の管搬送方向の下流側、好適には500～2000mmの位置に配置され、溶接シーム部からの輻射熱や溶接屑およびソリブル水の飛散から計測機器類を保護するための機構を備えていることが望ましく、また光学系の過熱や水、油、ヒューム等による汚損を防ぐため、洗浄と冷却をかねた気体パージ機構を備えることが望ましい。

また、前記制御装置170、表示装置190および記録装置192は、製造ラインから離れた作業位置、例えば図示しないオペレータ操作盤付近に配置して、測定ヘッド150とは支持アーム116を経由するなどしてケーブル160で接続されているが、その経路中で電気ノイズ等の混入を防ぐためにシールド構造となっていることが望ましい。

なお、以下の実施例の説明においては、管内面のビード切削形状の計測を行う構成になっているが、本発明による電縫溶接管のビード切削形状の計測方法および装置は、管の外面であっても内面と同様に適用することができるのは勿論である。

次に、測定ヘッド150および制御装置170の構成を図5を用いて説明する。図5において、120はスリット光源、130はCCDカメラ、132はレンズ、124は光源電源、134はカメラ電源、172は画像データ変換回路である。

ここで、光源電源124、カメラ電源134、画像データ変換回路172および以下で説明する演算回路群は、制御装置170として1つのケースに格納されるようにするのが望ましい。その演算回路群とは、第1の演算回路174、第2の演算回路176、積算回路178、画像再構成回路180、座標演算回路182である。

前記スリット光源120は、測定ヘッド150内にあって電縫溶接管110の断面と角度 α をなし、管周方向（幅方向）に所定の照射幅をもち、管軸方向にはできるだけ細い、好適には0.05mm以下の照射幅をもつ矩形状の照射像を形成するスリット光121を照射するものであり、この点については、従来技術のものを踏襲する。

ここで、スリット光は半導体レーザー素子を発光部に利用したものが広く用いられ、また照射像を矩形状にするために、ナイフエッジを用いたスクリーンやシリンドリカルレンズなどを組み合わせたものが一般に市販されている。

また、この角度 α は90°に近いほど後述のカメラ130で観察するビード切削形状が管軸方向に拡大されるが、同時に測定ヘッド150と管内面との距離変動の影

響も大きくなるので、本実施例では事前の実験により両者のバランスを考え $\alpha = 70^\circ$ を好適値として用いた。

前記カメラ130は、ビード切削部に照射されたスリット光の照射像を電縫溶接管110の断面と角度 β をなす方向から観察するもので、従来より工業分野で広く用いられているITVやCCD、CMOS等の半導体撮像素子を用いたカメラを利用することができる。また、カメラの結像に用いるレンズ132は市販のカメラ用レンズを用いればよいが、必要に応じ、背光等不要な光を光切断画像内から排除するために前記光源の波長にあわせた通過波長域を持つ大域通過フィルタや、輻射熱によるカメラ撮像面やレンズの損傷を防止するための熱線カットフィルタ等を有することが望ましい。

また、前記測定ヘッド150は、内部のカメラ130あるいは光源120、レンズ132等の光学機器を熱や水等から保護するため、密閉構造にするのが好ましく、この場合、スリット光およびカメラ視野の部分のみにそれぞれ窓152、154を開けた構造にすることが好ましい。

前記カメラ130の配置角度は、 $(\alpha + \beta)$ が略 90° であることが望ましく、カメラの画素数および視野は、ビード部の幅および必要な分解能に基づいて決定すればよい。本発明では光源120からのスリット光照射角度 $\alpha = 70^\circ$ 、撮像角度 $\beta = 30^\circ$ 、視野の範囲を幅 \times 高さ $= (25\text{ mm} \times 20\text{ mm})$ 、画素数は横 \times 縦 $= 1300 \times 1000$ 画素を好適値として用いた。これにより、高さ方向の分解能は

$$20 / 1000 * \cos(70^\circ) / \sin(70^\circ + 30^\circ) = 0.0069 \text{ (mm)}$$

$$\text{また、幅方向の分解能は } 25 / 1300 = 0.0192 \text{ (mm)}$$

となり、本実施例においては、幅方向（管周方向） $20\text{ }\mu\text{m}$ 、高さ方向（管軸方向） $7\text{ }\mu\text{m}$ の分解能でビード切削形状を監視可能である。

また、光源120とカメラ130の光軸が丁度ビード切削部上で交差するように配置するのが適切であるのは言うまでもないが、更に光源120とカメラ130の光軸が成す平面が電縫溶接管110の進行方向、即ち管の中心軸を含むように配置するのが一層望ましい。なぜならば、このように光源およびカメラを配置することにより、管内面の光切断像が光切断画像上のY軸方向に伸びる仮想中心線に対して左右対称に撮像できるからである。

更に、光源120およびカメラ130は図5のように傾けた状態で測定ヘッド1

50に固定してもよいが、装置の小型化を図るために、共に光軸が電縫溶接管の中心軸と平行になるように配置して、光軸を反射鏡136で傾けるような構成にしてもよい。

次に前記制御装置170の構成各部について説明する。画像データ変換回路172は、カメラ130が出力する画像信号を各画素毎の輝度データに変換して出力するもので、カメラ130に対応した画像ボード（フレームグラバ）として近年広く市販されているものを利用すればよい。

前記第1の演算回路174は、採取した画像中の各X座標 X_i ($i = 0 \dots N$) について、Y軸方向の最大輝度 I_0 とその最大輝度を示すY座標 Y_0 を算出するものであり、前記第2の演算回路176は、前記 Y_0 と予め設定したオフセット画素数 N_w および一画素のY方向長さ ΔY を用いて、前記Y軸方向の画素データ中の地合部 ($0 \leq Y \leq Y_0 - N_w \Delta Y$, $Y_0 + N_w \Delta Y \leq Y \leq Y_n$) の最大値 I_1 を算出するものであり、演算範囲が異なるだけで第1の演算回路174と同様な構成とすることができる。

前記積算回路178は、前述のようにして算出された I_0 、および I_1 から、あらかじめ定められた内分比で閾値 J_1 を算出し、 $X = X_i$ なるY方向1ラインの画素の内、輝度が J_1 より大なる範囲のみに対して、前記加重平均 $S(X_i)$ を算出する。本実施例では内分比を1:1としたので、 $J_1 = (I_0 + I_1) / 2$ で算出される。

前記画像再構成回路180は、以上のようにして各X座標毎に出力される加重平均 $S(X_i)$ をそれぞれ $X = X_i$ における光切断形状として画像 $Q(X_i, Y_j)$ に再構成するものである。

前記座標演算回路182は、光学系の配置およびカメラの解像度で定まる所定の変換式に基づいて画像再構成回路180が出力する光切断線座標（X座標と、各X座標において光切断線の位置を示すY座標の組）の列を真の断面形状の実寸データに変換するもので、例えば作用の項で説明した (x_i, y_j) の演算を行う回路で実現できる。

次に、本実施例の実施結果について説明する。

電縫溶接管110の製造中に本装置の光源120から電縫溶接管110のビード切削部111に照射されたスリット光121を、レンズ132を経由してカメラ1

30で観察した光切断画像は図6のようであり、非切削部でのスリット光照射像は明るくかつ太いのに対して、切削部のスリット光照射像は目視では確認しにくい程度であった。

これに対し、画像再構成回路180の出力した画像は図7のようであり、光切断画像のコントラストが切削部で非常に低いにも関わらず、切削は正常であることと、切削部と非切削部で曲率が異なる様子とが観察できた。また、別な電縫溶接管110の製造チャンスにおいて画像再構成回路180の出力画像は図8のようであり、何らかの切削異常によりビード削り残しが生じているのが確認できた。この図8に相当する管内位置のビード切削部をサンプル採取し非接触距離計を用いてオフライン計測した結果、図9のように削り残り段差の高さは0.15mmであり、切削に異常が生じている場合でも的確にビード切削形状を測定できていることが確認された。

(実施例2)

図10は、本発明の別な実施例にかかる測定ヘッド内部の演算回路群の構成を示すブロック図である。本図に図示されていない、ビードトリマー112およびそれに設置する測定ヘッド部150は上述の第1の実施例と同一の構成でよいので省略する。

また、図10において、第1の演算回路174、第2の演算回路176、積算回路178（以下、第1の積算回路と称する）、画像再構成回路180は上述の実施例1と同一のものをを用いればよく、本実施例の184は分岐回路、186は第2の積算回路である。

前記分岐回路184は、前記第1の演算回路174が算出する光切断線の最大輝度 I_0 と予め設定した固定閾値 J_2 との大小を判定し、第1の積算回路178もしくは第2の積算回路186いずれかを動作させるようにする回路であり、市販の比較回路で構成することができる。

前記第1の演算回路174は、採取した画像中の各X座標 X_i ($i = 0 \dots N$) について、Y軸方向の最大輝度 I_0 とその最大輝度を示すY座標 Y_0 を算出するものであり、分岐回路184は、前記の最大輝度 I_0 が所定の固定閾値 J_2 より大か否かを判定する回路であり、第2の積算回路186は、当該Y方向1ラインの画素の内、輝度が前記所定の固定閾値 J_2 より大なる範囲のみに対して、前記加重平均 S

(X i) を算出するもので、上述の実施例 1 で説明した積算回路 178 の閾値 J1 を所定の固定閾値 J2 にしたものである。

前記画像再構成回路 180 も上述の実施例 1 と同一のものをを用いればよいが、その入力分岐回路 184 により、第 1 の積算回路 178 もしくは第 2 の積算回路 184 のいずれかが選択される。

次に、本実施例の実施結果について説明する。

また別な電縫溶接管 110 の製造中に本実施例により観測した電縫溶接管内面ビード部分の光切断画像は図 11 のようであり、右側に見える非切削部がハレーションを起こして光切断線がその他の部分より大幅に太くなっており、かつその上下にノイズが発生している一方で、切削部は上述の実施例 1 と同様、目視でははっきりと確認できない部分もあった。これに対して、本実施例の画像再構成回路 180 の出力した画像は図 12 のようであり、ハレーションやノイズの影響を受けることなく、ビード切削形状を適正に測定することができた。

(実施例 3)

図 15 は、電縫溶接管 210 の内面ビードトリマー 212 周辺を示したものであり、図 15 において、214 が切削バイト、216 が支持アーム、250 が本発明によるビード切削形状計測装置の測定ヘッド、270 が制御装置、290 が表示装置、そして 292 が記録装置である。

測定ヘッド 250 は、切削バイト 214 の管搬送方向の下流側、好適には 500 ～ 2000 mm の位置に配置され、溶接シーム部からの輻射熱や溶接屑およびソリブル水の飛散から計測機器類を保護するための機構を備えていることが望ましく、また光学系の過熱や水、油、ヒューム等による汚損を防ぐため、洗浄と冷却をかねた気体パージ機構を備えることが望ましい。

また、制御装置 270、表示装置 290 および記録装置 292 は製造ラインから離れた作業位置、たとえば図示しないオペレータ操作盤付近に配置して、測定ヘッド 250 とは支持アーム 216 を経由するなどしてケーブル 260 で接続されているが、その経路中で電気ノイズ等の混入を防ぐためにシールド構造となっていることが望ましい。

なお、以下の実施例の説明においては、管内面のビード切削形状の計測を行う構成になっているが、本発明による電縫溶接管のビード切削形状の計測方法および計

測装置は管の外表面であっても内面と同様に適用することができるのはもちろんである。

次に、測定ヘッド 250 の構成を図 16 を用いて説明する。図 16 において、220 はスリット光源（以下、単に光源）、230 はカメラ、232 はレンズ、224 は光源電源、225 はカメラ電源、272 は画像データ変換回路である。

ここで、光源電源 224、カメラ電源 225、画像データ変換回路 272 および以下で説明する演算回路群は制御装置 270 として 1 つのケースに格納されるようにするのが望ましい。その演算回路群とは、細線化処理回路 275、画像合成回路 281 である。

スリット光源 220 は測定ヘッド 250 内にあって電縫溶接管 210 の断面と角度 α をなし、管周方向（幅方向）に所定の照射幅をもち、管軸方向にはできるだけ細い、好適には 0.05 mm 以下の照射幅をもつ矩形の照射像を形成するスリット光を照射するものであり、この点については、従来技術のものを踏襲する。

ここで、スリット光は半導体レーザー素子を発光部に利用したものが広く用いられ、また照射像を矩形にするために、ナイフエッジを用いたスクリーンやシリンドリカルレンズなどを組み合わせたものが一般に市販されている。

また、この角度 α は照射部への垂直な状態を 0° としたとき 90° に近いほど後述のカメラで観察するビード切削形状が管軸方向に拡大されるが、同時に測定ヘッド 250 と管内面との距離変動の影響も大きくなるので、本実施例では事前の実験により両者のバランスを考え $\alpha = 70^\circ$ を好適値として用いた。

カメラ 230 はビード切削部に照射されたスリット光の照射像を電縫溶接管 210 の断面と角度 β をなす方向から観察するもので、従来より工業分野で広く用いられている ITV や CCD、CMOS 等の半導体撮像素子を用いたカメラを利用することができる。また、カメラの結像に用いるレンズ 232 は市販のカメラ用レンズを用いればよいが、必要に応じ、背光等不要な光を光切断画像内から排除するために前記光源の波長にあわせた通過波長域を持つ帯域通過フィルタや、輻射熱によるカメラ撮像面やレンズの損傷を防止するための熱線カットフィルタ等を有することが望ましい。

また、測定ヘッド 250 は、内部のカメラあるいは光源、レンズ等の光学機器を熱や水等から保護するため、密閉構造にするのが好ましく、この場合、スリット光

およびカメラ視野の部分のみにそれぞれ窓 252、254を開けた構造にすることが好ましい。

カメラの配置角度は、 $(\alpha + \beta)$ が略 90° であることが望ましく、カメラの画素数および視野は、ビード部の幅および必要な分解能に基づいて決定すればよい。本発明では光源からのスリット光照射角度 $\alpha = 70^\circ$ 、撮像角度 $\beta = 30^\circ$ 、視野の範囲を幅×高さ = (25mm×20mm)、画素数は横×縦 = 1300×1000画素を好適値として用いた。これにより、高さ方向の分解能は

$$20 / 1000 * \cos(70^\circ) / \sin(70^\circ + 30^\circ) = 0.0069 \text{ (mm)}$$

また、幅方向の分解能は $25 / 1300 = 0.0192 \text{ (mm)}$

となり、本実施例においては、幅方向（管周方向） $20 \mu\text{m}$ 、高さ方向（管軸方向） $7 \mu\text{m}$ の分解能でビード切削形状を監視可能である。

また、光源 220 とカメラ 230 の光軸が丁度ビード切削部上で交差するように配置するのが適切であるのは言うまでもないが、さらに光源 220 とカメラ 230 の光軸が成す平面が電縫溶接管の進行方向すなわち管の中心軸を含むように配置するのが一層望ましい。なぜならば、このように光源およびカメラを配置することにより、管内面の光切断像が光切断画像上の Y 軸方向に伸びる仮想中心線に対して左右対称に撮像できるからである。

更に、光源 220 およびカメラ 230 は図 16 のように傾けた状態で測定ヘッド 250 に固定してもよいが、装置の小型化を図るために共に光軸が電縫溶接管の中心軸と平行になるように配置して光軸を反射鏡 236 で傾けるような構成にしてもよい。

次に制御装置 270 の構成各部について説明する。画像データ変換回路 272 は、カメラ 230 が出力する画像信号を各画素毎の輝度データに変換して出力するもので、カメラ 230 に対応した画像ボード（フレームグラバ）として近年広く市販されているものを利用すればよい。

細線化処理回路 275 は、採取した画像中のスリット光の像の細線化処理を行うもので、これは従来公知である細線化処理手段や、本願発明者らがここで提案する細線化処理方法を用いればよい。

画像合成回路 281 は、前記のようにして細線化処理したスリット光の画像と、画像データ変換回路が出力する元の光切断画像（原画像）を重ね合わせるものであ

り、具体的には、画像中の同一座標の画素同士において値の加算、論理和、あるいは原画像上に細線のみを上書きする、等の演算手段を行うものである。

次に、本実施例の動作について説明する。

図 17 は、電縫溶接管 210 製造時に本実施例の装置で観察された切削ビードの光切断画像であり、図 18 は図 17 の光切断像の細線化処理結果である。ここで、図 18 中の矢印で示すように、細線化結果に凹状のノッチが発生しているが、これは図 18 の○印の位置に散乱光ノイズがあったためである。これは、本実施例の出力が図 19 のようになることからわかる。本発明によれば、図 19 のように、元画像および細線化結果の両方を確認できるため、このような散乱光ノイズに起因するノッチを切削段差と誤認識することが回避できる。

(実施例 4)

図 20 は、本発明の別な実施例にかかる制御装置 270 内部の演算回路群の構成を示すブロック図である。本図に図示されていない、ビードトリマー 212 およびそれに設置する測定ヘッド部 250 は上述の第 1 の実施例と同一の構成でよいので省略する。

また、図 20 において、画像データ変換回路 272、細線化処理回路 275 は、上述の実施例 1 と同一のものを用いればよい。

S/N 比検出回路 277 は、細線化処理を行う際の画像中の同一 X 座標における、光切断線の像の輝度と光切断線から外れた部分の輝度の比を各 X 座標毎に算出するものであり、既知の最大値探索回路と除算回路の組み合わせで実現できる。

また、細線変換回路 288 は、細線化像の細線部分の画素の色を、S/N 比演算回路が出力する各 X 座標の S/N 比に応じて着色するものであり、グレースケールあるいは任意の色配列で着色すればよい。本実施例での好適例では、表 1 のように S/N 比に応じた色を 16 段階で割り当てるようにした。表 1 に関しては、通例知られている色呼称の中間色を多用することになるので、R、B、G それぞれの輝度による標記と併記した。

表 1

SN 比		色
下限	上限	R, G, B の輝度
それ以下	1.0	青 (0, 0, 255)
1.0	1.3	青緑 (0, 128, 255)
1.3	1.7	緑 (0, 255, 0)
1.7	2.0	(36, 255, 0)
2.0	3.0	(73, 255, 0)
3.0	5.0	(109, 255, 0)
5.0	8.0	黄緑 (146, 255, 0)
8.0	10.0	(182, 255, 0)
10.0	14.0	(219, 255, 0)
14.0	16.0	黄色 (255, 255, 0)
16.0	20.0	(255, 159, 0)
20.0	25.0	(255, 127, 0)
25.0	30.0	(255, 95, 0)
30.0	40.0	(255, 63, 0)
40.0	それ以上	赤 (255, 0, 0)

次に、本実施例の実施結果について説明する。

図 2 1 は、電縫溶接管 2 1 0 製造時に本実施例の装置で観察された切削ビードの光切断画像であり、図 2 2 は図 2 3 の光切断像の細線化処理結果である。ここで、図 2 2 中の矢印で示す部分は細線化結果に大きな突起状の部分が発生しているが、これはこの部分のスリット光の輝度がとても小さいため細線化処理に際し異常になったのが原因であるが、従来の線だけの表示ではそれを識別することはできない。それに対し、図 2 3 に示すのが本実施例の細線変換回路の出力する細線化像であり、図 2 2 の○印に相当する部分は S N が最低レベル（青色、あるいは青緑）であることが細線化像の色から判断できるので、この部分の切削形状を誤認識するのを防止できた。

（実施例 5）

図 2 4 は、本発明の更に別な実施例にかかる制御装置 2 7 0 内部の演算回路群の構成を示すブロック図である。本図に図示されていない、ビードトリマー 2 1 2 およびそれに設置する測定ヘッド部 2 5 0 は上述の実施例 1 と同一の構成でよいので省略する。

また、図 2 4 において、画像データ変換回路 2 7 2、細線化処理回路 2 7 5 は、上述の実施例 1 と同一のものを、S N 比検出回路 2 7 7、細線変換回路 2 8 8 は、

上述の実施例 2 と同一のものを利用すればよい。

次に、本実施例の実施結果について説明する。

図 2 5 は、電縫溶接管 2 1 0 製造時に本実施例の装置で観察された切削ビードの光切断画像であり、図 2 6 は図 2 5 の光切断画像中に示される光切断像の細線化処理結果である。ここで、図 2 6 中の矢印で示す部分は細線化結果に凹凸状の形状が発生しているが、これはこの部分のスリット光の輝度がとても小さいことに加え、散乱ノイズの影響が出たことが重なり、細線化処理に際し、異常になったのが原因であるが、従来の線だけの表示ではそれを識別することはできない。それに対し、図 2 7 に示すのが本実施例の細線変換回路の出力する細線化像であり、図 2 6 の○印に相当する部分は S N が最低レベル（青色、あるいは青緑）でありかつ元の光切断線の像から外れていることが明確に判別できるので、この部分の切削段差との誤認識を防止することができた。

以上説明した実施例においては、光切断線に着色する色の好適例の標記法としてコンピュータグラフィックスの分野で最も一般的な R B G 系統で説明したが、本発明はこれに限るものではなく、C Y M K など他の色標記法によっても同様の効果が得られるのは明らかである。

又、以上説明した実施例においては、制御装置 2 7 0 内の細線化処理回路 2 7 5、S N 比検出回路 2 7 7 その他の画像処理演算回路群の一部あるいは全部は、デジタルコンピュータ内のソフトウェアあるいは R O M 化プログラム等により実現しても勿論よい。

（実施例 6）

以下、図面を参照しながら本発明の実施例について説明する。

図 3 1 は、本発明にかかる電縫溶接管のビード検出装置の装置構成例を示す概略図である。図 3 1 において、3 2 0 は電縫溶接管、3 0 1 は投光手段、3 0 2 は撮像手段、3 0 3 はプロフィール算出装置、3 0 4 はプロフィールデータ処理装置、3 0 5 は表示装置である。

そして、図 3 2 はプロフィールデータ処理装置 3 0 4 の内部構成を示す構成図である。図 3 2 において、3 1 0 は仮頂点算出回路、3 1 1 は第 1 の回帰演算回路、3 1 2 は交点算出回路、3 1 3 は第 1 の範囲算出回路、3 1 4 は第 2 の回帰演算回路、3 1 5 は偏差算出回路、3 1 6 は第 2 の範囲算出回路である。

図 3 1 において、投光手段 3 0 1 としてはレーザーやランプ等の発光素子が放射する光をシリンドリカルレンズ等で線状に収束させたスリット光源か、照射位置で点状に収束するような光をミラー等で幅方向に走査するような走査点光源を用いればよいが、好適には半導体発光素子 (LED) とレンズ系を一体にした小型のスリット光源を用いるのが望ましく、スリットの短辺幅も溶接ビードの高さに比べ十分小さいことが望ましく、好適には $50 \mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。最終的には被測定部位の形状は後述の光切断画像処理により 1 本の線として算出されるので、これは必須というわけではないが可及的に小さい方がよい。

撮像手段 3 0 2 としては、ITVカメラや、PSD (光学的位置検出素子) を利用することができるが、後続の画像処理装置へのデータ変換のしやすさを考慮すると、CCDカメラを用いるのが好適である。また、図 3 1 では省略しているが、照射光を結像させるためのレンズ機構、受光光量を適切な範囲に調節する絞りやシャッター機構などは一般的に適切なものを選択して装着すればよい。ここで、光源として点光源を走査させる方式を採用した場合には、少なくとも 1 回は幅方向の全範囲を走査する間照射しつづける必要があることはいうまでもない。この条件を満たし、かつ走査が完了する間に管およびビード形状が変化しなければ、採取された画像はスリット光の場合も点光源平面走査の場合も同等となるので、以下ではスリット光源の場合のみを説明する。

光源である投光手段 3 0 1 からの入射角 α および撮像手段 3 0 2 の配置角度すなわち撮像角度 β は、 $(\alpha + \beta)$ が略 90° であることが望ましく、撮像手段 3 0 2 であるカメラの画素数および視野は、ビード部の幅および必要な分解能に基づいて決定すればよい。本発明では光源からのスリット光照射角度 $\alpha = 60^\circ$ 、撮像角度 $\beta = 30^\circ$ 、視野の範囲を幅 (横) \times 高さ (縦) $= (25 \text{ mm} \times 20 \text{ mm})$ 、画素数は横 \times 縦 $= 640 \times 480$ 画素を好適値として用いた。これにより、幅方向の分解能は、

$$25 / 640 = 0.0391 \text{ (mm)}$$

また、高さ方向の分解能は、

$$20 / 480 * \cos(60^\circ) / \sin(60^\circ + 30^\circ) = 0.0209 \text{ (mm)}$$

となり、本実施例においては、幅方向 (管周方向) $40 \mu\text{m}$ 、高さ方向 (管軸方向) $20 \mu\text{m}$ の分解能でビード形状を検出可能である。

プロフィール算出装置 303 は、図 33 に例示するような管表面に写るスリット光の像を適切な画像処理手段により 1 本の線に変換し、さらに光源および撮像装置の配置から、すなわち照射角度 α や撮像角度 β から幾何計算により、スリット光の像すなわち擬似的な断面プロフィールを管の肉厚断面方向の真のプロフィールすなわち電縫溶接管のプロフィールデータを算出するものである。ここにおいて画像処理手段としては一般に細線化処理を行うものを用いればよいが、好適には発明者らがここで提案した細線化処理手段を用いるのがよい。また、本発明の目的であるビード形状検出のためには管のプロフィールデータとしては簡単のため先述の幾何計算の部分を省略しても別段差支えない。

次に、以下、プロフィールデータ処理装置 304 内部の各部について説明する。先述のようにしてスリット光の照射によってできる擬似的な断面プロフィール、あるいは電縫溶接管のプロフィール（共に細先化処理後のものとする）中、ビード部を横断する方向（幅方向）に X 軸をとると、プロフィールは X 座標に対応した高さのデータ群として表すことができる。

ここにおいて、仮頂点算出回路 310 は、溶接ビードの頂点位置 X_{c0} を算出するものであるから、たとえばプロフィールデータの荷重平均（重心位置）を算出するように構成すればよい。

これは、ある幅方向（X 軸方向）座標について、輝度とそれを示す画素の縦軸座標を掛け算した値を縦軸方向に加算していき、それを参与した画素数で割った平均値を求め、さらに他の幅方向（X 軸方向）座標についても同じように平均値を求めて幅方向（X 軸方向）にその平均値を連ねていき、さらにそれらの中から縦軸の最大値を示す X 座標を求めるようにすることである。

あるいはより簡単に、ある幅方向（X 軸方向）座標について最大輝度を示す画素を、幅方向（X 軸方向）に連ねていき、それらの中から縦軸の最大値を示す X 座標を求めるようにしてもよい。

また、第 1 の回帰演算回路 311 は、図 34 に示すようなプロフィールデータを 2 次関数で回帰するものであるので、公知な回帰演算、好適には最小 2 乗演算則を実施するように構成すればよい。この第 1 の回帰演算回路 311 がプロフィールデータを 2 次関数で近似した第 1 の近似曲線は図 35 に示すとおりである。

ここで、図 34 では、縦軸の示すビードの高さとして相対値を使用している。

この相対値とは、先述の通り、本発明の目的であるビード形状検出のためには電縫溶接管のプロフィールデータとして簡単のため幾何計算の部分を省略したものを用いても別段差支えないことと関連し、幾何計算の部分を省略した値、という意味である（以下、同じ）。

交点算出回路 312 は、図 35 に示すようにプロフィールデータと第 1 の近似曲線が交差する点のうち、頂点 X_{c0} の左側、右側でそれぞれ最も近い 2 点を選び、それぞれ X_l 、 X_r とする。

第 1 の範囲算出回路 313 は、交点算出回路 312 が算出した X_l 、 X_r と、頂点の値 X_{c0} に基づいて、下記の素管部回帰に用いる座標の範囲を算出する。たとえば、頂点と交点の 3 : 2 外分点

$$X_{l'} = (3X_l - X_{c0}) / 2$$

$$X_{r'} = (3X_r - X_{c0}) / 2$$

により、 $R : x < X_{l'}, x > X_{r'}$

を算出するように構成すればよく、この外分比は例えば経験上平均的なビードの立ち上がりの滑らかさを考慮して適宜決めればよい。

第 2 の回帰演算回路 314 は、前述のようにして算出された x の範囲 R において第 1 の回帰演算回路と同様な最小二乗多項式回帰演算を行うように構成すればよい。ただし、第 2 の回帰演算回路 314 においては算出する多項式の次数は 2 次以上の偶数次多項式であり、好適には 4 次以上の多項式となるように構成するのが望ましい。こうして第 2 の近似曲線が得られる。ところでこの第 2 の近似曲線は先程 x の範囲 R から外れた $X_{l'} \leq x \leq X_{r'}$ の領域にも補完的に延伸する。

偏差算出回路 315 は、電縫溶接管のプロフィールデータの存在する X 座標の全体（光切断画像として画像視野の中に捕らえることのできるという意味での全体）にわたって、前記の第 2 の回帰演算回路が出力する第 2 の近似曲線と、電縫溶接管のプロフィールデータとの偏差を算出するものであり、多項式演算回路と減算回路とで構成することができる。

そして、第 2 の範囲算出回路 316 は上記の偏差算出回路 315 の出力が所定の閾値を超える範囲を算出し、この範囲のうちで頂点 X_{c0} を含む部分をビードの仮の存在範囲として出力するもので、しきい値回路と比較回路とで構成することができる。

以降、本実施例の動作について、データを用いて説明する。

投光手段 301 から管表面にスリット光を照射し、撮像装置 302 によって撮像した光切断画像は図 33 のようであり、この光切断画像に対してプロフィール算出装置 303 が算出するビード部を含んだ電縫溶接管のプロフィールデータを細線化処理したものは図 34 のようになる。仮頂点算出回路 310 はこのプロフィールデータに対して最大値演算、あるいは加重平均（重心演算）等の手法により頂点を算出する。図 34 に記入した X_{c0} は、このようにして算出したビードの頂点の位置である。

第 1 の回帰演算回路 311 は、プロフィール全体の 2 次式による最小二乗回帰演算を行い、その結果、図 35 のような 2 次関数が出力され、同様に図 35 に記入した X_1 、 X_r 、 X_1' 、 X_r' は、交点算出回路 312、範囲算出回路 313 がそれぞれ上で説明したように算出した X 座標の位置である。

第 2 の回帰演算回路 314 は、範囲算出回路 313 が設定した X 座標の範囲についてプロフィールデータの第 2 の近似曲線を算出する。この実施例では回帰次数の好適例として 4 次で回帰するものとした。その結果得られた第 2 の近似曲線は図 36 の太線のようにになる。

偏差算出回路 315 は、図 36 の太線と電縫溶接管のプロフィールデータとの偏差 $e(x)$ を算出し、その結果を図 37 のように求める。

そして、第 2 の範囲算出回路 316 は、この偏差 $e(x)$ が予め設定したしきい値を超える範囲を探索し、そのうち、頂点座標 X_{c0} を含む X 座標の範囲を算出する。本実施例ではしきい値の好適例として 0.05 を用いた。その結果は図 37 に記入した矢印の範囲を示している。

本発明の妥当性の確認のため、本実施例の装置と同一の投光手段および撮像手段の配置において光源の発光を止め、露光時間を長くしてビードを撮影した写真と、本発明によるビード形状の画像出力を比較してみることにした。結果は図 38 のようであるが、算出したビード形状（図 38 の下部に示す）とよく一致していることがわかる。

以上説明した実施例において、プロフィール算出装置 303 およびプロフィールデータ処理装置 304 の内部構成回路の一部あるいは全部は、デジタルコンピュータ内のソフトウェアあるいは ROM 化プログラムとして実現してもよい

ことは当然である。また、本発明適用の対象は鋼管のみならず、銅、アルミ、その他の金属管であってももちろんよい。

図40は、本発明にかかる電縫溶接管のビード形状検出装置の構成例を示す概略図である。図40において、420は電縫溶接管、401は投光手段、402は撮像手段、403はビード形状算出手段、404はデータ処理装置、405は表示装置である。

前記投光手段401としては、レーザーやランプ等の発光素子が放射する光をシリンダリカルレンズ等で平面状に収束させたスリット光源か、照射位置で点状に収束するような光をミラー等で幅方向に走査するような走査点光源を用いればよいが、好適には半導体発光素子(LED)とレンズ系を一体にした小型のスリット光源を用いるのが望ましい。スリットの幅も溶接ビードの高さに比べ十分小さいことが望ましく、好適には $50\mu\text{m}$ 以下であることが望ましいが、最終的には被測定部位の形状は後述の画像処理により1本の線として算出されるのでこれは必須ではない。

前記撮像手段402としては、ITVカメラやPSD(光学的位置検出素子)を利用することができるが、後続の画像処理装置へのデータ変換を考慮すると、CCDカメラを用いるのが好適である。また、図では省略しているが、照射光を結像させるためのレンズ系、受光光量を適切な範囲に調節する絞りやシャッター機構などは一般的に適切なものを選択して装着させればよい。ここで、投光手段401として点光源を走査させる形式を採用した場合には、光が少なくとも1回は幅方向の全範囲を照射する間は露光させることが必要となる。この条件を満たし、かつ走査が完了する間に管およびビード形状がほぼ定常であれば、採取された画像はスリット光の場合も点光源走査の場合も同等となるので、以下ではスリット光源の場合のみを説明する。

前記投光手段401からの光の入射角 α および撮像手段402の配置角度 β は、 $(\alpha+\beta)$ が略 90° であることが望ましく、カメラの画素数および視野は、ビード部の幅および必要な分解能に基づいて決定すればよい。本発明では投光手段401からのスリット光の照射角度 $\alpha=60^\circ$ 、撮像角度 $\beta=30^\circ$ 、視野の範囲を幅 \times 高さ $= (25\text{mm}\times 20\text{mm})$ 、画素数は横 \times 縦 $= 640\times 480$ 画素を好適値として用いた。これにより、高さ方向の分解能は、

$$20/480 \cdot \cos(60^\circ) / \sin(60^\circ + 30^\circ) = 0.0209(\text{mm})$$

また、幅方向の分解能は

$$25/640 = 0.0391(\text{mm})$$

となり、本実施例においては、幅方向（管横断方向） $40\mu\text{m}$ 、高さ方向（管軸方向） $20\mu\text{m}$ の分解能でビード形状を検出可能である。

前記ビード形状算出手段403は、スリット光の像を適切な画像処理手段により1本の線にし、次に投光手段401および撮像手段402の配置から決まる幾何計算によりビード形状（プロファイル）を算出するものである。ここで、プロファイルとは、電縫溶接管の内面または外面の輪郭形状のことで、ビード部を含む管表面の形状データは、その一部を切り取ったものである。また、画像処理手段としては一般に細線化処理を行えるものとして知られているものを用いればよいが、好適には発明者らがここで提案した細線化手段を用いるのが望ましい。

前記データ処理装置404は、図41に、その内部構成を示す如く、頂点位置設定回路410と、ビード範囲設定回路411と、ビード形状近似回路412と、素管形状近似回路413と、ビード範囲再設定回路414と、特徴量算出回路415とを備えている。

以下、データ処理装置404内部の各部について説明する。

前記頂点位置設定回路410は、前記のようにして算出されるビード部を含む管表面の形状データからビードの頂点位置を設定する。これは作業者がビード部を含む管表面の形状データから判断して手入力しても良いが、より好適には、ビード部を含む管表面の形状データの中で高さの最大値を示す位置を求めればよい。さらに、適宜加重平均等の演算による処理を加えて算出するようにしてもよい。

前記ビード範囲設定回路411は、同じく前記のようにして算出されるビード部を含む管表面の形状データからビード範囲を設定する。これも、作業者がビード部を含む管表面の形状データから判断してビード部左右両端の境界を手入力し、左右両境界の中間に相当する領域をビード範囲として設定しても良く、あるいは特許文献3に開示されているように隣接する形状データの差に基づいて上がり位置を検出するようにしてもよいが、より好適には、頂点位置設定回路410が出力するビードの頂点位置を中心として予め設定するビード幅を半分づ

つ振り分けるか、発明者らがここで提案している、電縫溶接管の溶接ビード形状検出方法に開示した方法に従って設定するのが良い。

前記ビード形状近似回路 4 1 2 は、前記のように設定するビード範囲を頂点の左側 $x_l < x < x_o$ 、右側 $x_o < x < x_r$ の 2 つに分け、それぞれの範囲におけるビード部の形状を所定の関数で近似し、その関数をビード部の左右それぞれの形状について決定するものである。その好適な方法については下記の実施例の動作の項で説明する。

前記素管形状近似回路 4 1 3 は、前記のようにして設定したビード範囲の形状データを、ビード部を含む管表面の形状データから除いた管表面の形状データと、冪関数等の所定の形の関数で近似しその関数の各係数等具体的パラメータを算出するものである。その好適な方法については下記の実施例の動作の項で説明する。

前記ビード範囲再設定回路 4 1 4 は、上記のようにして決定された左右それぞれのビード形状の近似関数、素管形状の近似関数の値が交差する位置をビード部と素管部の境界位置として認識し直すものであり、関数値演算回路と比較器から構成することができる。

前記特徴量検出回路 4 1 5 は、上記のように算出したビード範囲、頂点位置、左右それぞれのビード形状の近似関数、素管形状の近似関数、ビード部を含む管表面の形状データより、ビードの幅、高さ、左右の立上がり角、左右のビード部と素管部の境界の段差を算出するものである。

前記表示装置 4 0 5 は、前記特徴量検出回路 4 1 5 が検出するビード形状の特徴量を表示する。これはそれぞれの値を数値や棒グラフで時々刻々更新して表示しても良いが、好適にはビード部を含む管表面の形状データやそれぞれの特徴量をタイムチャートとして表示するのもよい。

また、前記特徴量検出回路 4 1 5 の出力を図示しない通信ポートや外部出力回路により、これも図示しないレコーダーやビジネスコンピュータ等に適切な時間間隔で出力し、データを蓄積するようにしてもよい。

次に、本実施例の動作について説明する。

図 4 2 は、撮像手段 4 0 2 が撮像した、ビード部を含む管表面の範囲をカバーする投光手段であるスリット光源 4 0 1 の光切断像であり、これをビード形状

算出手段 403 により細線化処理して表示装置 405 上の座標に変換した結果が、図 43 のようなビード部を含む管表面の形状データである。図 43 に書き込んだ矢印は、それぞれ頂点位置設定回路 410、ビード範囲設定回路 411 が算出したビード範囲、頂点位置の x 座標を示している。本実施例において頂点位置算出は、ビード部を含む管表面の形状データ列 (x_i, z_i) ($i = 0, \dots, N-1$) に対して所定のビード範囲を定義域とするビード部を含む管表面形状データ (x_i, z_i) ($i = i_L, \dots, i_R$) の加重平均

(数式 1)

$$x_c = \frac{\sum_{i=i_L}^{i_R} x_i \cdot z_i}{\sum_{i=i_L}^{i_R} z_i}$$

により、 $x_c = -0.0781$ と算出した値を用い、ビード範囲の設定は予め設定した概略のビード幅 $W_0 = 4\text{mm}$ を用いて、

$$x_L = x_c - W_0 / 2 = -2.0781\text{mm}$$

$$x_R = x_c + W_0 / 2 = 1.9219\text{mm}$$

とした。ここで、 i_L 、 i_R はそれぞれビード範囲の左端、右端に相当する形状データのアドレスである。また、以下で用いる i_c は、前記のように求められた x_c に相当する形状データ列のアドレスである。

ビード形状近似回路 412 は、前記のようにして設定したビードの左半分（左側の境界 $x = x_{iL}$ から頂点 $x = x_{ic}$ まで）、右半分（頂点 $x = x_{ic}$ から右側の境界 $x = x_{iR}$ まで）について、下記の E_L 、 E_R をそれぞれ最小化する関数 $f_L(x)$ を算出する。

(数式 2)

$$E_L = \sum_{i=i_L}^{i_c} (z_i - f_L(x))^2 \rightarrow \min, E_R = \sum_{i=i_c}^{i_R} (z_i - f_R(x))^2 \rightarrow \min$$

ここで、左半分と右半分で以下に説明する処理は同じになるため、以降、代表して、和記号等はビードの左側半分についてだけ説明する。また、ビード部の左

右それぞれの形状データの近似関数としては、円弧、多項式等を用いても良いが、本実施例では好適例として、次のように定義される線分の集合体を用いた。

(数式 3)

$$f_L(x) = \begin{cases} a_{L1}x + b_{L1} & x_{i_L} \leq x < x_{i_{p1}} \\ \vdots & \vdots \\ a_{Lj}x + b_{Lj} & x_{i_{p,j-1}} \leq x < x_{i_{pj}} \\ \vdots & \vdots \\ a_{Ln}x + b_{Ln} & x_{i_{p,n-1}} \leq x < x_{i_c} \end{cases}$$

ただし、 n は線分の本数であり、 i_{p1}, \dots, i_{pn} は $i_L < i_{p1} < \dots < i_{pj} < \dots < i_{p,n-1} < i_c$ を満たす連結点のアドレスである。連結点の個数、すなわち線分の本数は任意に設定してよいが、演算時間を考慮して本実施例では $n = 2$ とした。従って、本実施例では連結点が 1 つであるので、以降では $p1$ は p と添字を省略して表記することがある。

さて、この場合、 $f_L(x)$ を算出するには、 a_{L1} 、 b_{L1} 、 a_{L2} 、 b_{L2} 、 x_{p1} の 5 つのパラメータに関する E_L の最小値問題を解くことになるが、これは下記のようなステップに分けることにより算出できる。

(1) まず x_p を固定して、その場合についての a_{L1} 、 b_{L1} 、 a_{L2} 、 b_{L2} を算出する。その場合、データの集合 (x, z) に対する直線の最小二乗回帰であるから代数的に求めることができ、

(数式 4)

$$a_{L1} = \frac{\sum_{i=i_L}^{i_p} 1 \sum_{i=i_L}^{i_p} x_i z_i - \sum_{i=i_L}^{i_p} x_i \sum_{i=i_L}^{i_p} z_i}{\sum_{i=i_L}^{i_p} x_i^2 \sum_{i=i_L}^{i_p} 1 - \left(\sum_{i=i_L}^{i_p} x_i \right)^2}, \quad b_{L1} = \frac{-\sum_{i=i_L}^{i_p} x_i \sum_{i=i_L}^{i_p} x_i z_i + \sum_{i=i_L}^{i_p} x_i^2 \sum_{i=i_L}^{i_p} z_i}{\sum_{i=i_L}^{i_p} x_i^2 \sum_{i=i_L}^{i_p} 1 - \left(\sum_{i=i_L}^{i_p} x_i \right)^2}$$

$$a_{L2} = \frac{\sum_{i=i_p}^{i_c} 1 \sum_{i=i_p}^{i_c} x_i z_i - \sum_{i=i_p}^{i_c} x_i \sum_{i=i_p}^{i_c} z_i}{\sum_{i=i_p}^{i_c} x_i^2 \sum_{i=i_p}^{i_c} 1 - \left(\sum_{i=i_p}^{i_c} x_i \right)^2}, \quad b_{L2} = \frac{-\sum_{i=i_p}^{i_c} x_i \sum_{i=i_p}^{i_c} x_i z_i + \sum_{i=i_p}^{i_c} x_i^2 \sum_{i=i_p}^{i_c} z_i}{\sum_{i=i_p}^{i_c} x_i^2 \sum_{i=i_p}^{i_c} 1 - \left(\sum_{i=i_p}^{i_c} x_i \right)^2}$$

である。

(2) 上記で算出した a_{L1} 、 b_{L1} 、 a_{L2} 、 b_{L2} を用いて、 $x = x_p$ の場合の近似誤差 $E(x_p)$ を算出する。

(数式 5)

$$\begin{aligned} E(x_p) &= \sum_{i=i_L}^{i_R} (z_i - f_L(x))^2 \\ &= \sum_{i=i_L}^{i_p} (z_i - a_{L1}x_i - b_{L1})^2 + \sum_{i=i_p}^{i_R} (z_i - a_{L2}x_i - b_{L2})^2 \end{aligned}$$

(3) 上記の (1)、(2) の演算をすべての

(数式 6)

$$i_p \in [i_L, i_R]$$

に対して実行し、 $E(x_{ip})$ が最小となる x_{ip} が求める連結点である。

(4) 上記で算出した x_{ip} に対応した $f_L(x)$ を、当該ビード部を含む管表面の形状の近似関数とする。

(5) 頂点位置よりも右側のビード形状の近似関数についても同様に、上記の (1) ~ (4) において、 i_L を i_c に、 i_c を i_R におきかえて同様の演算を実行すればよい。

そして、図 4 4 は、図 4 3 のビード部を含む管表面の形状データのうちの頂点位置よりも左側の形状データに関して、各 x_p と上記近似誤差 $E(x_p)$ の関係をプロットした例であるが、図のように $x_p = -0.7031$ において最小値をとっており、これにより、当該左側のビード形状の近似関数を、

(数式 7)

$$f_L(x) = \begin{cases} 1.0586x - 3.76155 & -2.0781 \leq x < -0.7031 \\ 0.12345x + 6.789 & -0.7031 \leq x < 0.07813 \end{cases}$$

と決定できる。

素管形状近似回路 4 1 3 は、ビード部を含む管表面の形状データのうち、ビード部を除く範囲に対して、近似関数 $f_P(x)$ を算出する。この近似関数 $f_P(x)$ としては、円、楕円を用いてもよいが、冪関数、中でも 2 次以上の偶数次多項式

を近似曲線として用いるのが好ましい。

図 4 5 は、この根拠を説明するために、円の上半分の曲線を 2 次、4 次、6 次、8 次の多項式で回帰した場合の多項式の次数と近似誤差の RMS (二乗平均の平方根) の関係を表したグラフであり、図より、2 次以上の偶数次多項式、好適には 4 次以上の偶数次多項式により、楕円の形状を十分な精度で回帰できることが示されている。したがって本実施例では 4 次関数で近似を行うこととした。具体的には、図 4 3 のピード部を含む管表面の形状データの座標範囲

(数式 8)

$$x \in D = \{[x_0, x_L] \cup [x_R, x_N]\}$$

に関して、次のように定義される誤差の二乗和

(数式 9)

$$J = \sum_{x \in D} \{z - f_p(x)\}^2 \rightarrow \min$$

が最小となる 4 次関数

(数式 10)

$$z = f_p(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4$$

の係数を算出する。これは代数的に解くことができ、

(数式 11)

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \text{inv} \left(\sum_{x \in D} \begin{bmatrix} 1 & x & x^2 & x^3 & x^4 \\ x & x^2 & x^3 & x^4 & x^5 \\ x^2 & x^3 & x^4 & x^5 & x^6 \\ x^3 & x^4 & x^5 & x^6 & x^7 \\ x^4 & x^5 & x^6 & x^7 & x^8 \end{bmatrix} \right) \sum_{x \in D} \begin{bmatrix} z \\ zx \\ zx^2 \\ zx^3 \\ zx^4 \end{bmatrix}$$

により算出する (ただし、 $\text{inv}(A)$ は行列 A の逆行列を表す)。本実施例においては、上式により、

$$f_p(x) = 1.60921 + 0.055776x - 0.02129x^2 - 0.00015x^3$$

$$+ 0.000057 x^4$$

と算出できた。

ビード範囲再設定回路 414 は、上記のようにして算出した左右それぞれのビード形状の近似関数 $f_L(x)$ 、 $f_R(x)$ 、および素管形状の近似関数 $f_p(x)$ の交点を算出し、算出された左右両交点の中間に相当する領域を新たなビード範囲 (x_L', x_R') として出力する。

本実施例において算出された $f_L(x)$ 、 $f_R(x)$ 、 $f_p(x)$ は図 46 のようになり、ビード範囲再設定回路は、

$$x_{L'} = -2.2266, \quad x_{R'} = 3.5938$$

を出力した。なお、図 46 において破線でプロットされているのは、図 43 と同じビード部を含む管表面の形状データである。

特徴量検出回路 150 は、上記のように算出したビード範囲、頂点位置、左右それぞれのビード形状の近似関数、素管形状の近似関数、ビード部を含む管表面形状データより、ビードの高さ H 、幅 W 、左右のビード部の立上がり角度 θ_L 、 θ_R 、左右のビード部の境界の段差 Δ を算出する。

それぞれの特徴量の好適な決定方法として、本実施例では、

- ・ビードの幅 W : ビード範囲再設定回路が出力する左右のビード境界の管周方向位置の間隔
 - ・ビードの高さ H : ビード頂点位置におけるビード部を含む管表面の形状データと素管形状の近似関数の値の差
 - ・ビードの立上がり角 θ_L 、 θ_R : 左右それぞれのビード形状の近似関数と素管形状の近似関数の境界における微分係数により定義されるそれぞれの傾きの逆正接
 - ・ビード部と素管部の左右境界の段差 Δ : ビード範囲再設定回路 414 が出力する左右のビード境界位置における左右それぞれのビード形状の近似関数と素管形状の近似関数の値の差
- なる定義に従って算出した。

ビードの立上がり角の算出方法について更に詳細に説明する。一例として、左側のビードの立上がり角の算出手順を説明すると、上記素管形状の近似関数 $f_p(x)$ および左側のビード形状の近似関数 $f_L(x)$ の $x = x_{iL}$ における傾き θ_L

クトル v_P , v_L は

(数式 1.2)

$$v_P = (1, f'_P(x_L)) = (1, a_1 + 2a_2x_L + 3a_3x_L^2 + 4a_4x_L^3)$$

$$v_L = (1, f'_L(x_L)) = (1, a_L)$$

であるから、両者のなす角 θ_L に関して、

(数式 1.3)

$$\begin{aligned} \cos \theta_L &= \frac{v_L \cdot v_P}{|v_L| |v_P|} = \frac{1 + f'_P(x_L) f'_L(x_L)}{\sqrt{1 + (f'_P(x_L))^2} \sqrt{1 + (f'_L(x_L))^2}} \\ &= \frac{1 + (a_1 + 2a_2x_L + 3a_3x_L^2 + 4a_4x_L^3) a_L}{\sqrt{1 + (a_1 + 2a_2x_L + 3a_3x_L^2 + 4a_4x_L^3)^2} \sqrt{1 + a_L^2}} \end{aligned}$$

により、 θ_L を算出する。

θ_R についても、上記と同様にして算出する。

本実施例においては、上記のような定義により、

$$\text{ビードの幅(mm)} \quad W = x_R - x_L = 5.8204$$

$$\text{ビードの高さ(mm)} \quad H = Z(x_c) - f_P(x_c) = 2.9150$$

$$\text{左側ビードの立上がり角度(deg)} \quad \theta_L = 38.335$$

$$\text{右側ビードの立上がり角度(deg)} \quad \theta_R = 21.392$$

$$\text{左右ビード境界の段差(mm)} \quad \Delta = |f_P(x_L) - f_P(x_R)| = 0.1576$$

と算出できた。

産業上の利用可能性

本発明により、電縫溶接管のビード切削形状を、光切断像の切削部と非切削部における輝度レベルの違いの影響を受けることなく精度よく計測することができる。本発明によれば、管表面の形状データに基いて電縫溶接管のビード形状の特徴量を算出するようにしたので、溶接部の透磁率変化の影響等を受けずにビー

ド形状を検出することができる。ビードの立ち上がりが非常に滑らかな場合やビードの高さが低い場合、ビードの高さが長手方向でばらついている場合、あるいはビード形状が三角形や台形から外れた場合や切り立っているような場合でも、正確にビード形状を検出することができる。また、本発明により、ビード切削形状データを自動的に演算、記録することが可能であるので、単に光切断画像を目視監視するだけでなく、定量的な判定や傾向把握、更には切削位置制御と組み合わせることで高度な電縫溶接管製造操作が可能となる。

請求の範囲

1. 電縫溶接管の溶接部に生成された管内面あるいは外面のビードを切削した後の形状を計測する電縫溶接管のビード切削形状の計測方法において、

前記ビード部に照射したスリット光の像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる光切断画像に対して、

該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度および前記スリット光の照射領域から外れる地合部領域の最大輝度をそれぞれ求め、

前記管軸方向の最大輝度と地合部領域の最大輝度を予め定めた比で内分して得られる輝度を閾値とし、

該閾値より大である輝度およびそれを示す管軸方向座標の加重平均を当該幅方向座標、管軸方向座標における擬似断面方向座標とし、

該擬似断面方向座標を幅方向に連ねて得られる擬似断面形状と、前記スリット光の光源、前記撮像手段および電縫溶接管の幾何学的位置関係から決まる所定の変換式に基づいて前記電縫溶接管のビード切削形状を算出することを特徴とする、電縫溶接管のビード切削形状の計測方法。

2. 電縫溶接管の溶接部に生成された管内面あるいは外面のビードを切削した後の形状を計測する電縫溶接管のビード切削形状の計測方法において、

前記ビード部に照射したスリット光の像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる光切断画像に対して、

該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度が所定の固定閾値以上である場合は、それを示す管軸方向座標の加重平均を当該幅方向座標、管軸方向座標における擬似断面方向座標とし、

前記最大輝度が前記所定の固定閾値を下回る場合は、該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度および前記スリット光の照射領域から外れる地合部領域の最大輝度をそれぞれ求め、

前記管軸方向の最大輝度と地合部領域の最大輝度を予め定めた比で内分して得られる輝度を閾値とし、

該閾値より大である輝度およびそれを示す管軸方向座標の加重平均を当該幅

方向座標、管軸方向座標における擬似断面方向座標とし、

該擬似断面方向座標を幅方向に連ねて得られる擬似断面形状と、前記スリット光の光源、前記撮像手段および電縫溶接管の幾何学的位置関係から決まる所定の変換式に基づいて前記電縫溶接管のビード切削形状を算出することを特徴とする、電縫溶接管のビード切削形状の計測方法。

3. 切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、

前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、

該撮像手段の出力する光切断画像に対して、該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度および該最大輝度となる管軸方向座標を算出する第1の演算回路と、

ある幅方向座標における前記管軸方向の最大輝度となる管軸方向座標から所定の画素数以上外れた地合部の最大輝度を算出する第2の演算回路と、

前記第1の演算回路および第2の演算回路の出力から所定の演算式に従って算出される閾値より輝度が大である輝度およびそれを示す管軸方向座標の加重平均を算出する積算回路と、

上記のように算出した管軸方向座標の加重平均を幅方向に連ねて擬似断面形状を生成する画像再構成回路と、

前記スリット光源、前記撮像手段および前記電縫溶接管の幾何学的位置関係から決まる所定の変換式に基づいて前記電縫溶接管のビード切削形状を算出して表示する座標演算回路と、

を備えたことを特徴とする、電縫溶接管のビード切削形状の計測装置。

4. 切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、

前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、

該撮像手段の出力する光切断画像に対して、該光切断画像上のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度および該最大輝度となる管軸方向座標を算出する第1の演算回路と、

前記のある幅方向における管軸方向の最大輝度が所定の固定閾値以上か否かを判定する分岐回路と、

ある幅方向座標における前記管軸方向の最大輝度となる管軸方向座標から所定の画素数以上外れた地合部の最大輝度を算出する第2の演算回路と、

前記のある幅方向座標における管軸方向の最大輝度と地合部の最大輝度を予め定めた比で内分して得られる閾値より大である管軸方向座標の加重平均を算出する第1の積算回路と、

前記所定の固定閾値以上の輝度およびそれを示す管軸方向座標の加重平均を算出する第2の積算回路と、

上記のように算出した第1の積算回路および第2の積算回路の出力を、前記分岐回路の出力に従って選択し幅方向に連ねて擬似断面形状を生成する画像再構成回路と、

前記スリット光源、前記撮像手段および前記電縫溶接管の幾何学的位置関係から決まる所定の変換式に基づいて前記電縫溶接管のビード切削形状を算出して表示する座標演算回路と、

を備えたことを特徴とする、電縫溶接管のビード切削形状の計測装置。

5. 電縫溶接管の溶接部に生成された管内面あるいは外面のビード位置に照射したスリット光の像である光切断像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる光切断画像に所定の画像処理を施すことにより該電縫溶接管のビード形状を算出する電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測方法において、

該光切断像と該光切断像を所定の画像処理手段により細線化後の光切断像とを重ね合わせた画像を表示するようにしたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測方法。

6. 請求項5において、細線化後の光切断像の各画素の色を、該画素に対応する光切断画像上の光切断像の輝度および該スリット光から外れた領域の最大輝度との比から定まるS/N比に応じた色で着色して表示するようにしたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード形状計測方法。

7. 請求項5において、照射したスリット光の像である光切断像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる光切断像に対して該光切断像を所定の画像処理手段により細線化後の光切断像の各画素の色を、該画素に対応する光切断画像上の光切断像の輝度および該スリット光から外れた領域の最大輝度との比から定まるS/N比に応じた色で分類して着色し、前記光切断像と重ね合わせて画像表示するようにしたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード形状計測方法。

8. 切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、

前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、

前記撮像手段の出力する光切断画像に対して、スリット光の像を1本の画素で表示するように処理する細線化処理回路と、

該光切断画像と前記細線化結果を同一画像上に重ね合わせる画像合成回路と、
を備えたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測装置。

9. 切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、

前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、

前記撮像手段の出力する光切断画像に対して、スリット光の像を1本の画素で表示するように処理する細線化処理回路と、

前記細線化した光切断線の各画素の色を、該画素の対応する光切断画像上のスリット光画像の輝度と該スリット光からはずれた領域の最大輝度の比から定まるS/N比に応じて着色する細線変換回路と、

を備えたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測装置。

10. 請求項9において、切削後の電縫溶接管ビード部にスリット光をある入射角で照射するスリット光源と、

前記スリット光の照射像を別な受光角で撮像する撮像手段と、

前記撮像手段の出力する光切断画像に対して、スリット光の像を1本の画素で表示するように処理する細線化処理回路と、

前記細線化した光切断線の各画素の色を、該画素の対応する光切断画像上のスリット光画像の輝度と該スリット光からはずれた領域の最大輝度の比から定まるS/N比に応じて着色する細線変換回路と、

前記光切断画像と前記細線変換回路が出力する彩色された細線化結果を同一画像上に重ね合わせる画像合成回路と、

を備えたことを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード切削形状計測装置。

11. 電縫溶接管の溶接部にスリット光を照射あるいは点状光を走査し、溶接部表面に照射されたスリット光の像あるいは走査された点状光の軌跡の像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像手段により撮像して得られる画像に所定の画像処理を施す光切断法により該電縫溶接管のビード形状を検出する電縫溶接管のビード形状検出方法において、

電縫溶接管のプロフィールから所定の算出式により仮のビード頂点の座標を算出し、

該電縫溶接管のプロフィールを2次関数で近似して第1の近似曲線を求め、

該電縫溶接管のプロフィールと前記第1の近似曲線との前記仮のビード頂点を挟んだ2つの交点の座標を算出し、

前記仮のビード頂点の座標と前記仮のビード頂点を挟んだ2つの交点の座標とから所定の算出式によりビードの仮の存在範囲を算出し、

前記電縫溶接管のプロフィールから前記ビードの仮の存在範囲を除いた素管部形状を2次以上の偶数次多項式で近似して第2の近似曲線を求め、

前記電縫溶接管のプロフィールと前記第2の近似曲線の偏差が所定の閾値より大となる領域のうちで、前記仮のビード頂点の座標を含む領域をビードとして特定することを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出方法。

12. 電縫溶接管の溶接部にある角度を以ってスリット光を照射あるいは点状光を走査する投光手段と、

前記投光手段が溶接部に照射された像を、前記ある角度と異なる角度から撮像

する撮像手段と、

前記撮像手段により得られる画像に所定の画像処理を施すことにより該電縫溶接管のプロフィールを算出するプロフィール算出手段と、

該電縫溶接管のプロフィールから所定の算出式により仮のビード頂点の座標を算出する仮頂点算出手段と、

該電縫溶接管のプロフィールを2次関数として所定の回帰式により近似する第1の回帰演算手段と、

前記第1の回帰演算手段の出力と、前記プロフィール算出手段の出力とから前記仮のビード頂点を挟んだ2つの交点の座標を算出する交点算出手段と、

前記交点の座標と前記仮のビード頂点の座標とから所定の算出式によりビードの仮の存在範囲を算出する第1の範囲算出手段と、

前記のようにして算出したビードの仮の存在範囲を除いた範囲の電縫溶接管のプロフィールを2次以上の偶数次多項式で近似する第2の回帰演算手段と、

前記第2の回帰演算手段の出力と前記電縫溶接管のプロフィールとの偏差が所定の閾値より大となる領域のうちで、前記仮のビード頂点の座標を含むものを溶接ビードの範囲として出力する第2の範囲算出手段と、

を備えたことを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出装置。

13. 電縫溶接管の溶接によるビード部を含む管表面にスリット光を照射あるいは点状光を走査し、前記ビード部を含む管表面に照射されたスリット光の像あるいは走査された点状光の軌跡の像を前記スリット光の照射方向と異なる角度から撮像して得られる画像に所定の画像処理を施すことにより該電縫溶接管のビード形状を検出する電縫溶接管のビード形状検出方法において、

画像処理の結果算出したビード部を含む管表面の形状データに対し、予め設定したビード部左右両端の境界と、別途算出したビード部の頂点位置とにより、ビード部に相当する部分の管表面の形状データを求め、

該ビード部に相当する部分の管表面の形状データを左右2つの領域に分け、

左右それぞれの形状データについて、関数により近似して左右それぞれのビード形状の近似関数を求め、

さらに、ビード部を含む管表面の形状データからビード部に相当する部分の管

表面の形状データを除いた素管形状データについて、関数により近似して素管形状の近似関数を求め、

前記左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記素管形状の近似関数とに基づいて、少なくともビードの幅、高さ、立上がり角、ビード部と素管部の左右境界の段差のいずれか一つを算出することを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出方法。

14. 請求項13において、前記左右それぞれのビード形状の近似関数を、2つ以上の相異なる傾きをもつ直線を連結した関数とし、各連結点の位置、それぞれの直線の傾きと切片をパラメータとして、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記ビード部を含む管表面の形状データとの誤差とを最小するように算出することを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出方法。

15. 請求項13又は14において、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記素管形状の近似関数との交点をビード部両端の境界として算出し、それに基づいて、少なくともビードの幅、立上がり角およびビード部と素管形状の左右境界の段差のいずれか一つを算出することを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出方法。

16. 請求項13乃至15のいずれかにおいて、前記ビード部の頂点の電縫溶接管横断方向位置における、前記ビード形状の近似関数の値と、前記素管形状の近似関数の値との差をビード高さとして算出することを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビード高さ検出方法。

17. 請求項13乃至15のいずれかにおいて、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と、前記素管形状の近似関数との交点をビード部両端の境界として算出し、算出した交点の電縫溶接管横断方向位置における、前記左右それぞれのビード形状の近似関数と前記素管形状の近似関数の微分係数をそれぞれ算出し、それに基づいて左右ビードの立上がり角をそれぞれ算出することを特徴とする、電縫溶接管の溶接ビードの立上がり角検出方法。

18. 電縫溶接管の溶接部を含む管表面にスリット光を照射あるいは点状光を走査する投光手段と、

前記投光手段から前記溶接部を含む管表面に照射された像を前記投光手段と異なる角度から撮像する撮像手段と、

前記撮像手段により得られる画像に所定の画像処理を施すことにより該電縫溶接管のビード形状を算出するビード形状算出手段と、

前記ビード形状算出手段により算出されたビード形状データに基づいて、ビードの頂点位置およびビード部とビード部を除いた素管部との境界位置をそれぞれ算出する頂点位置設定回路およびビード範囲設定回路と、

前記頂点位置設定回路およびビード範囲設定回路の出力する頂点位置および該頂点位置を挟んだ左右の境界位置に基づいて、左右それぞれのビード形状の近似関数を算出するビード形状近似回路と、

前記ビード範囲設定回路の出力する左右の境界位置より外側の素管形状データに基づいて、素管形状の近似関数を算出する素管形状近似回路と、

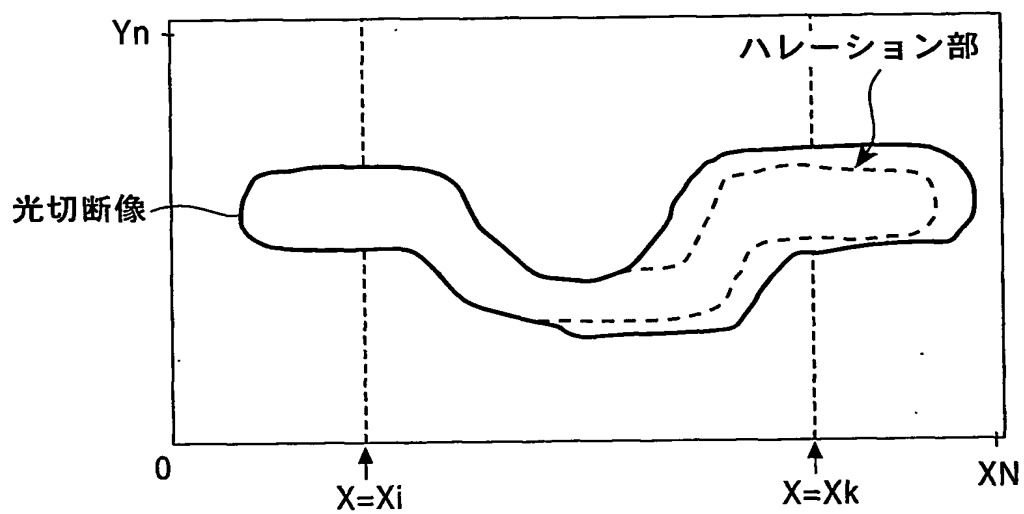
前記ビード形状近似回路が出力する左右それぞれのビード形状の近似関数と、素管形状近似回路が出力する素管形状の近似関数との交点を、左右の境界位置として再設定するビード範囲再設定回路と、

前記ビード範囲設定回路、ビード形状近似回路、素管形状近似回路のそれぞれの出力に基づいて、少なくともビードの幅、高さ、立上がり角、ビード部と素管部の左右境界の段差のいずれか一つを算出する特徴量算出回路と、

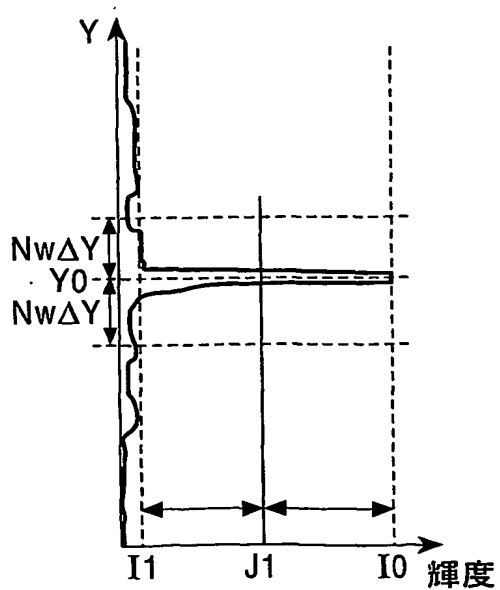
を備えたことを特徴とする、電縫溶接管のビード形状検出装置。

図 1

(a)



↓
(b)



↓
(c)

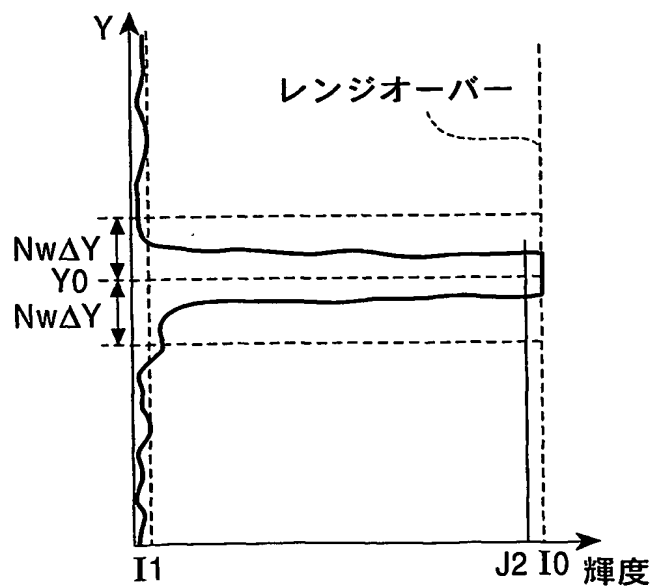


図 2

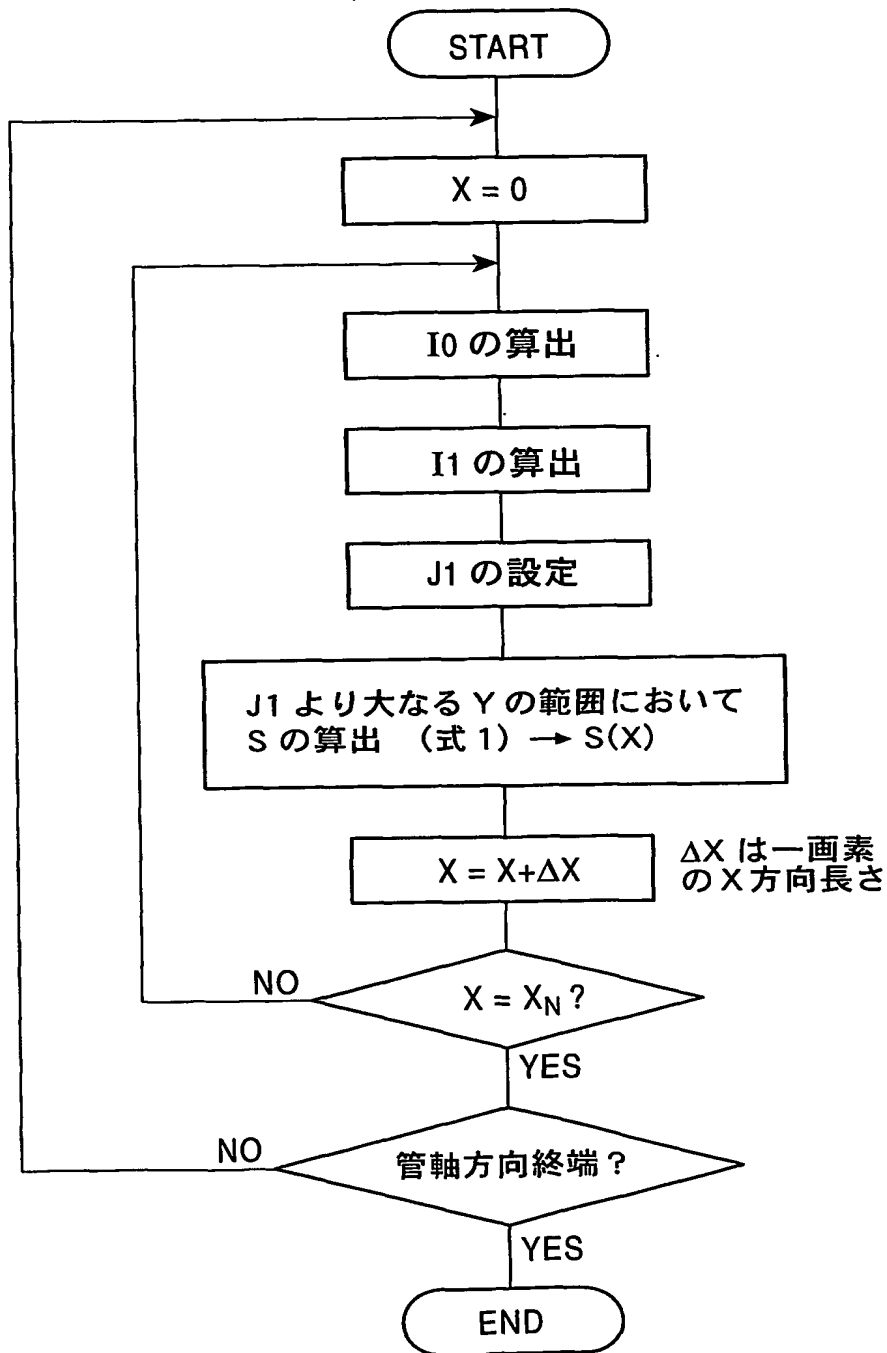


図 3

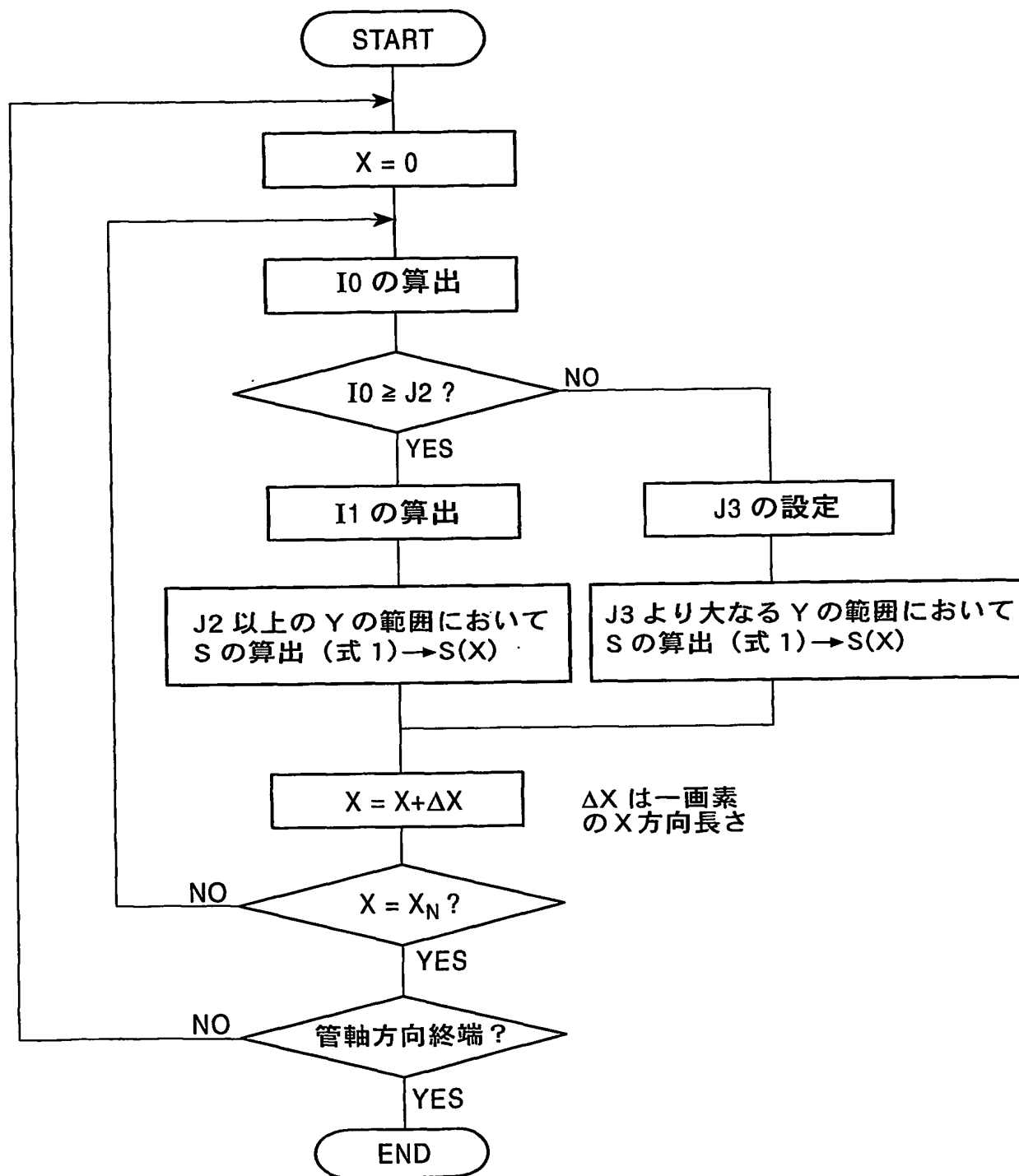


図 4

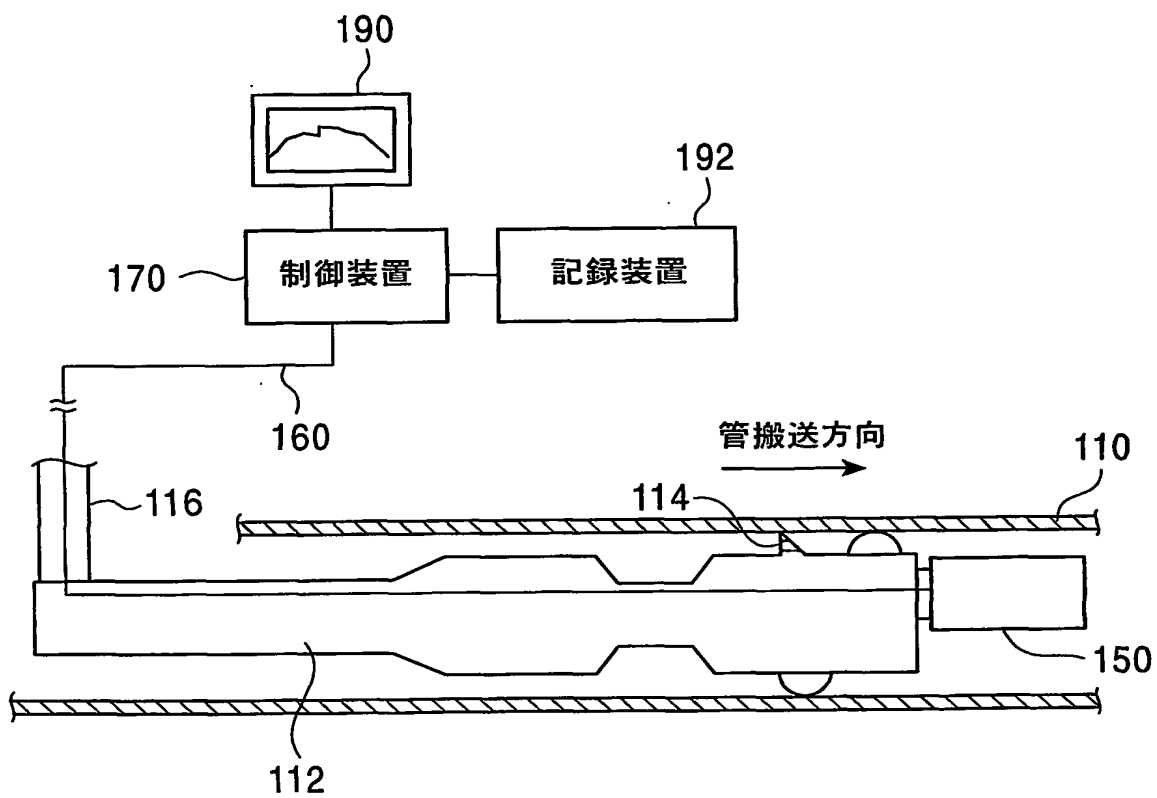


図 5

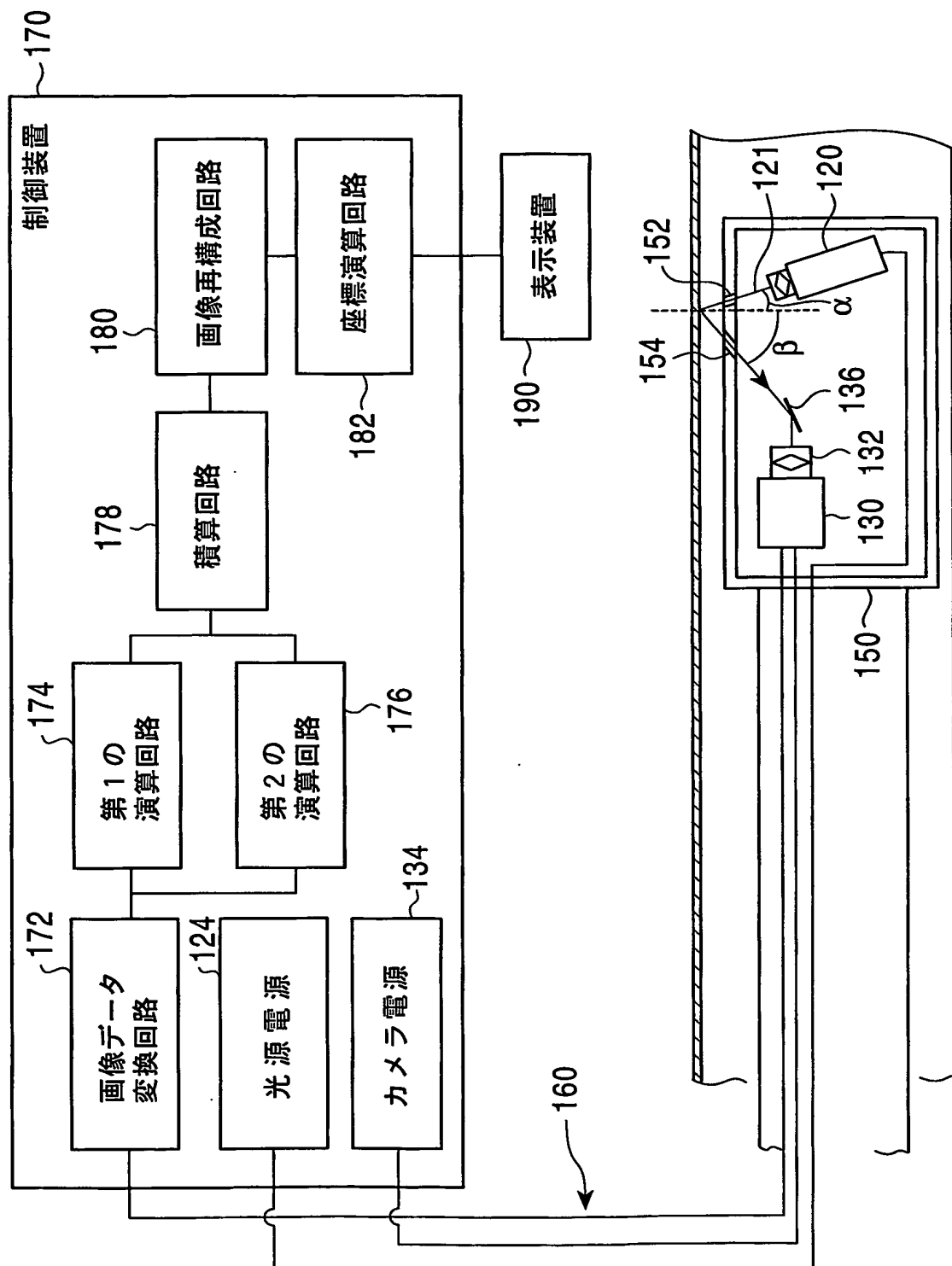


図 6

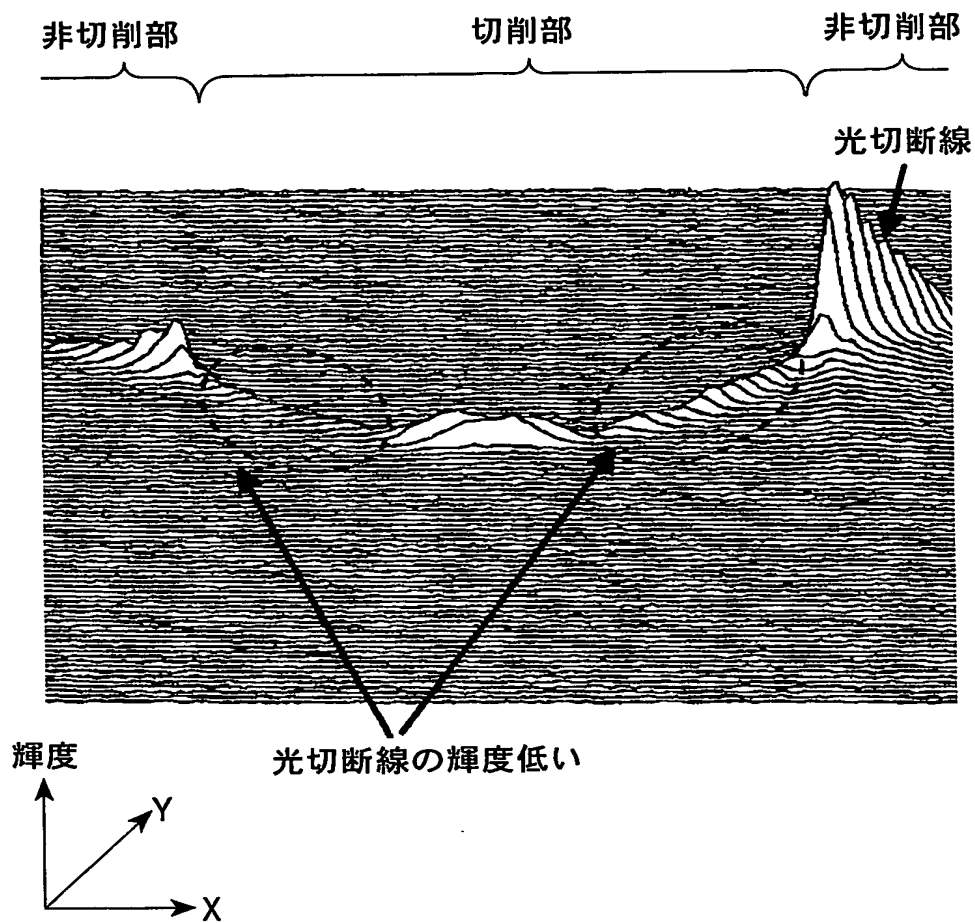


図 7

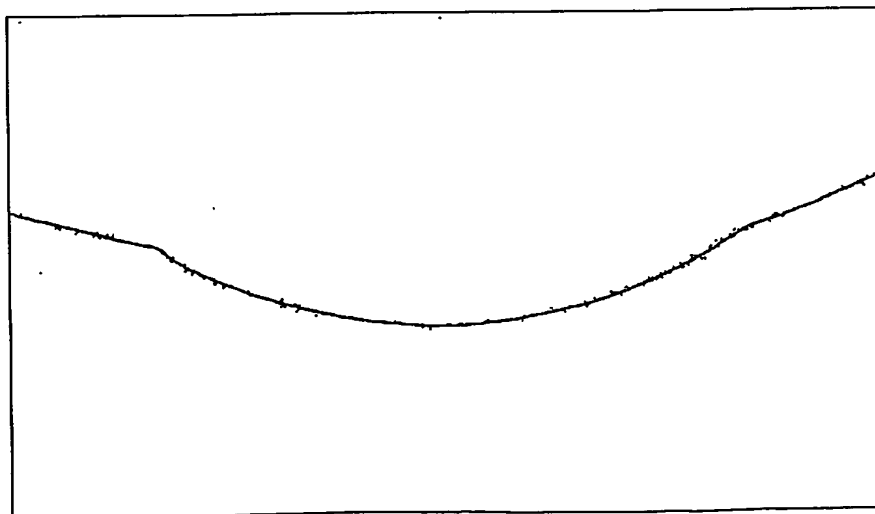


図 8

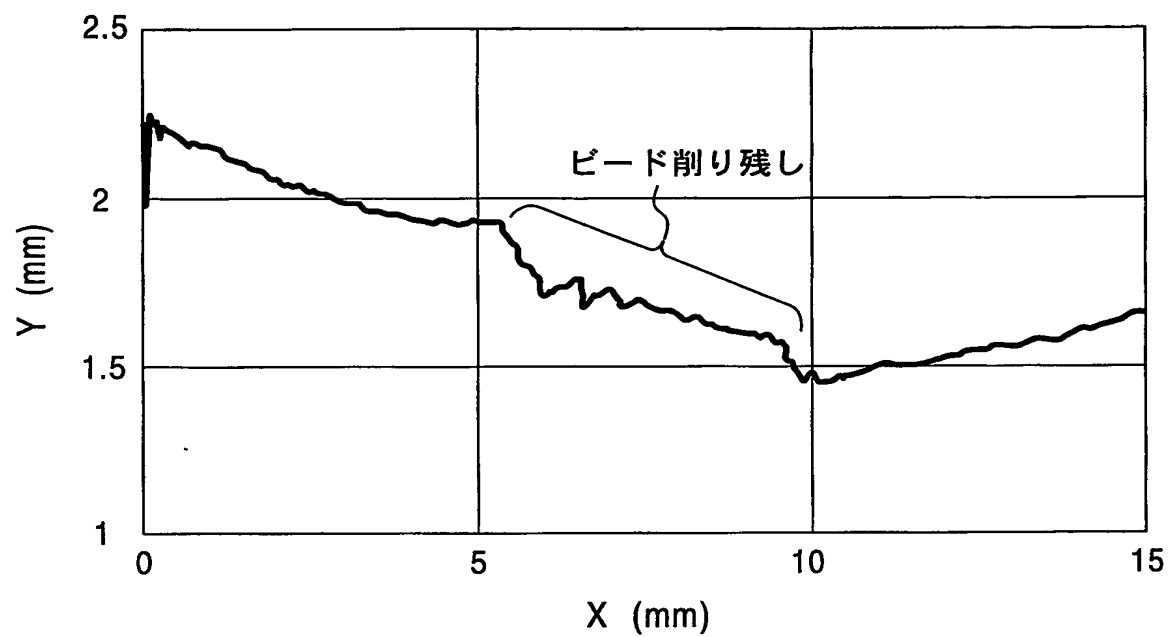


図 9

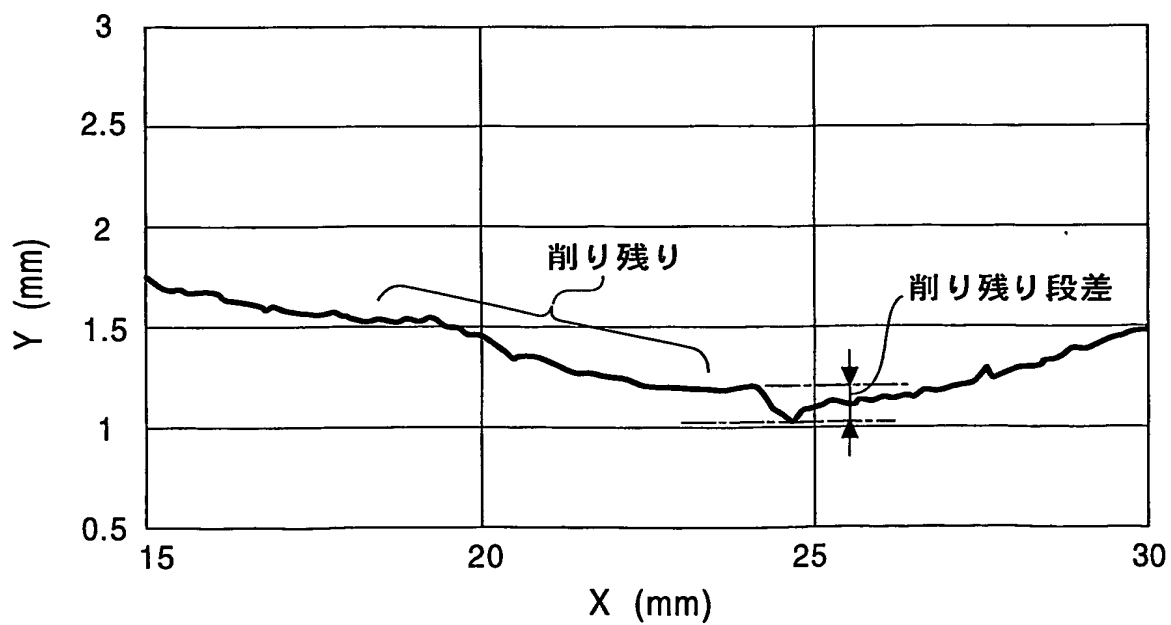


図 10

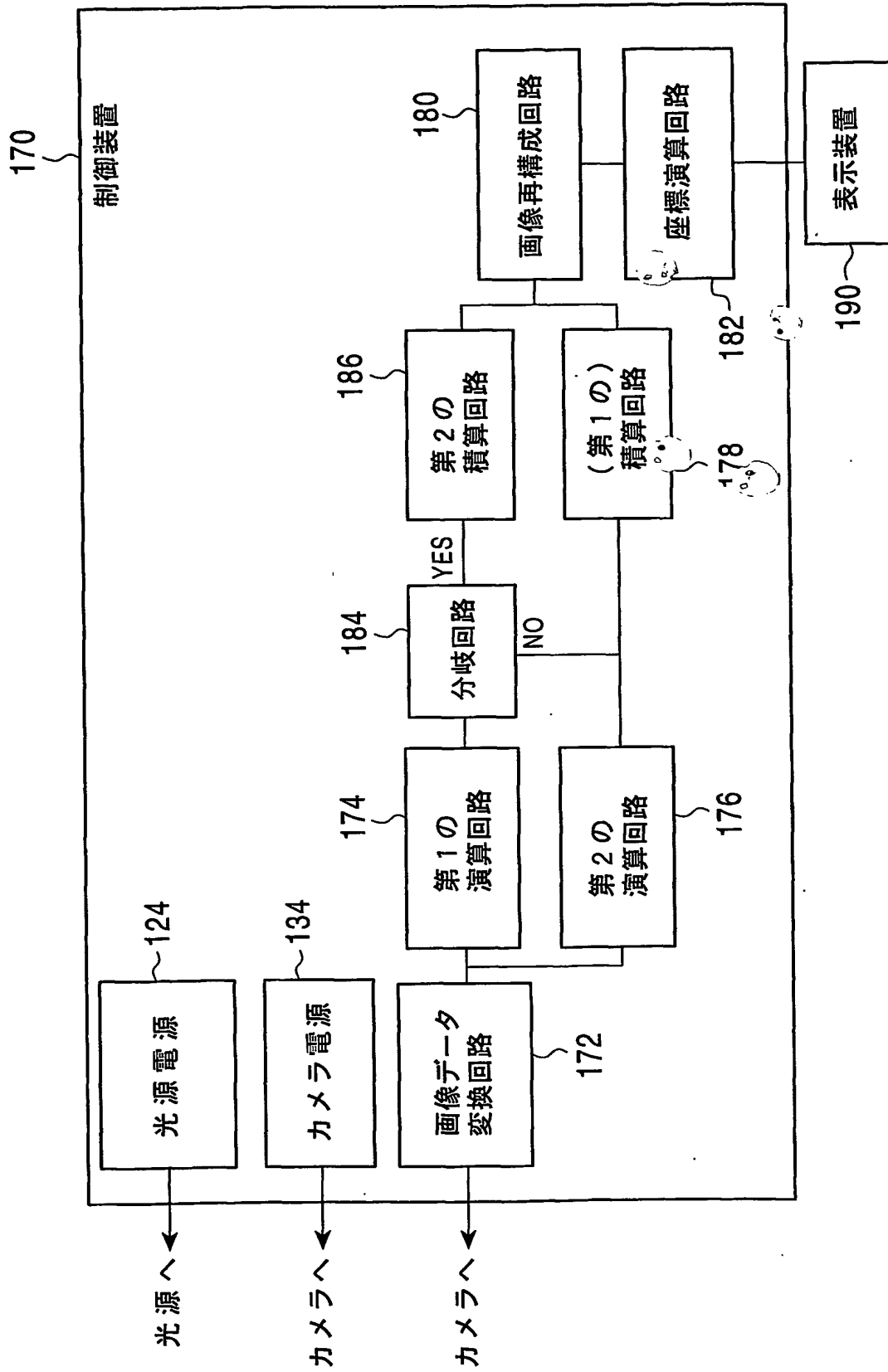


図 11

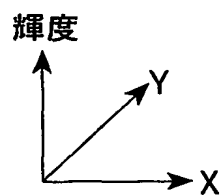
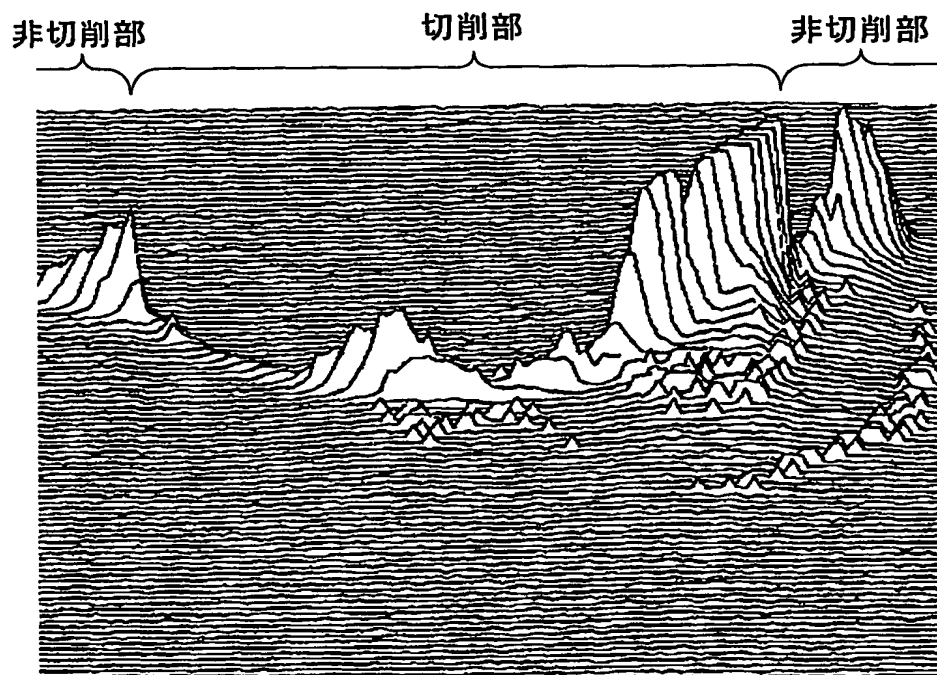


図 12

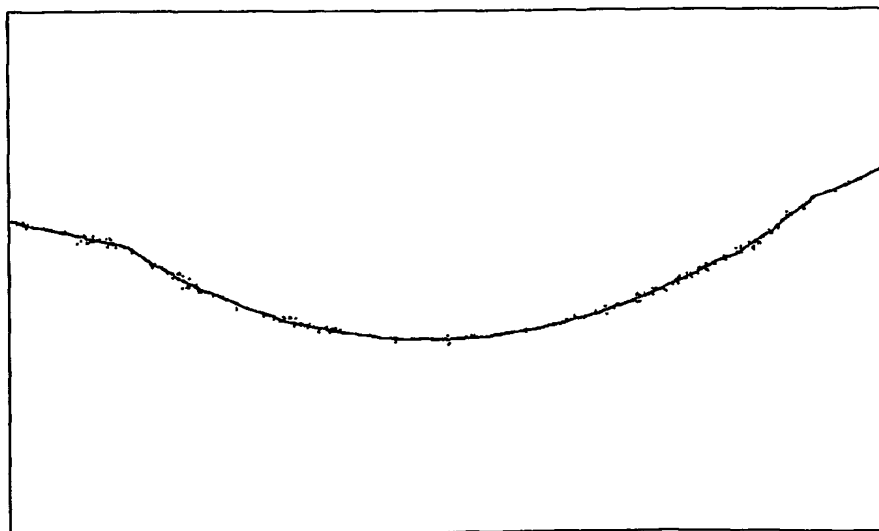


図 13

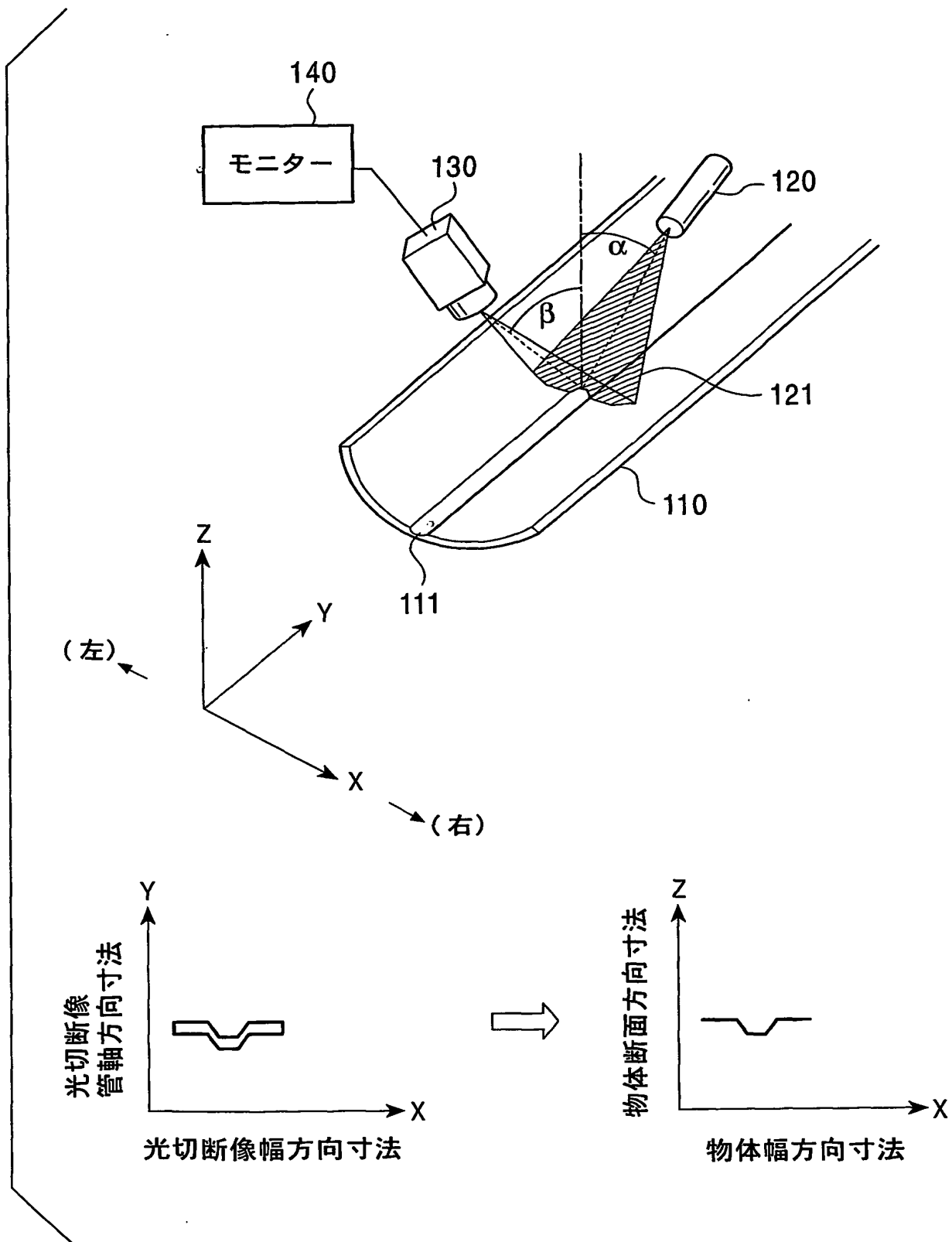


図 14

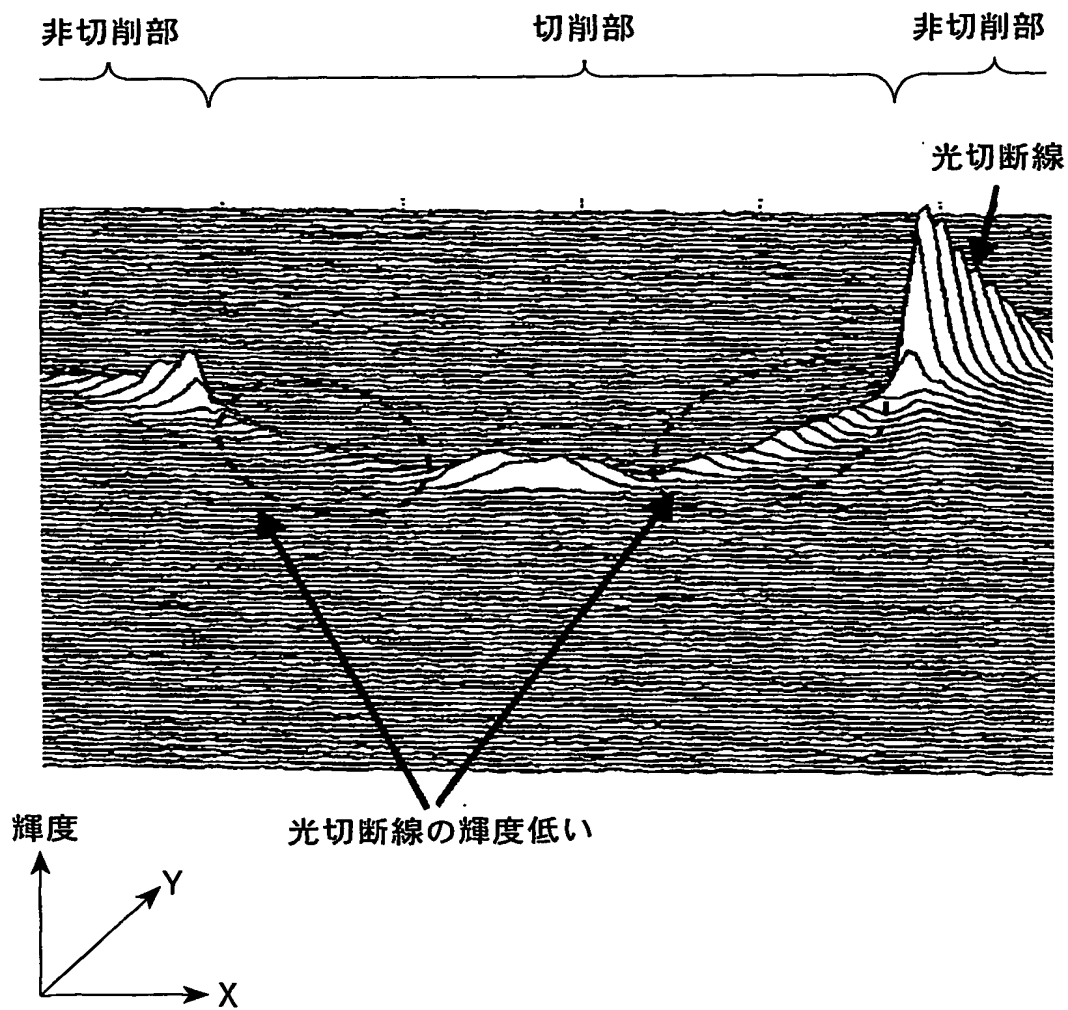
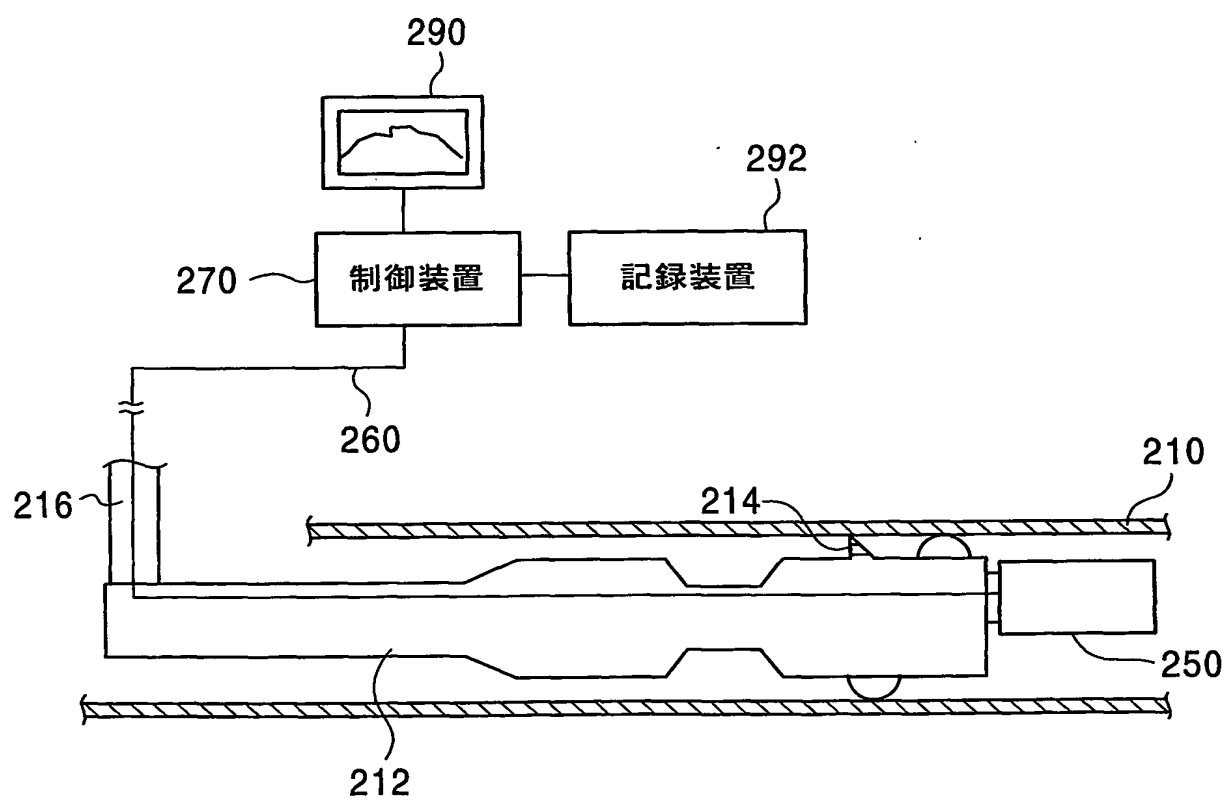


図 15



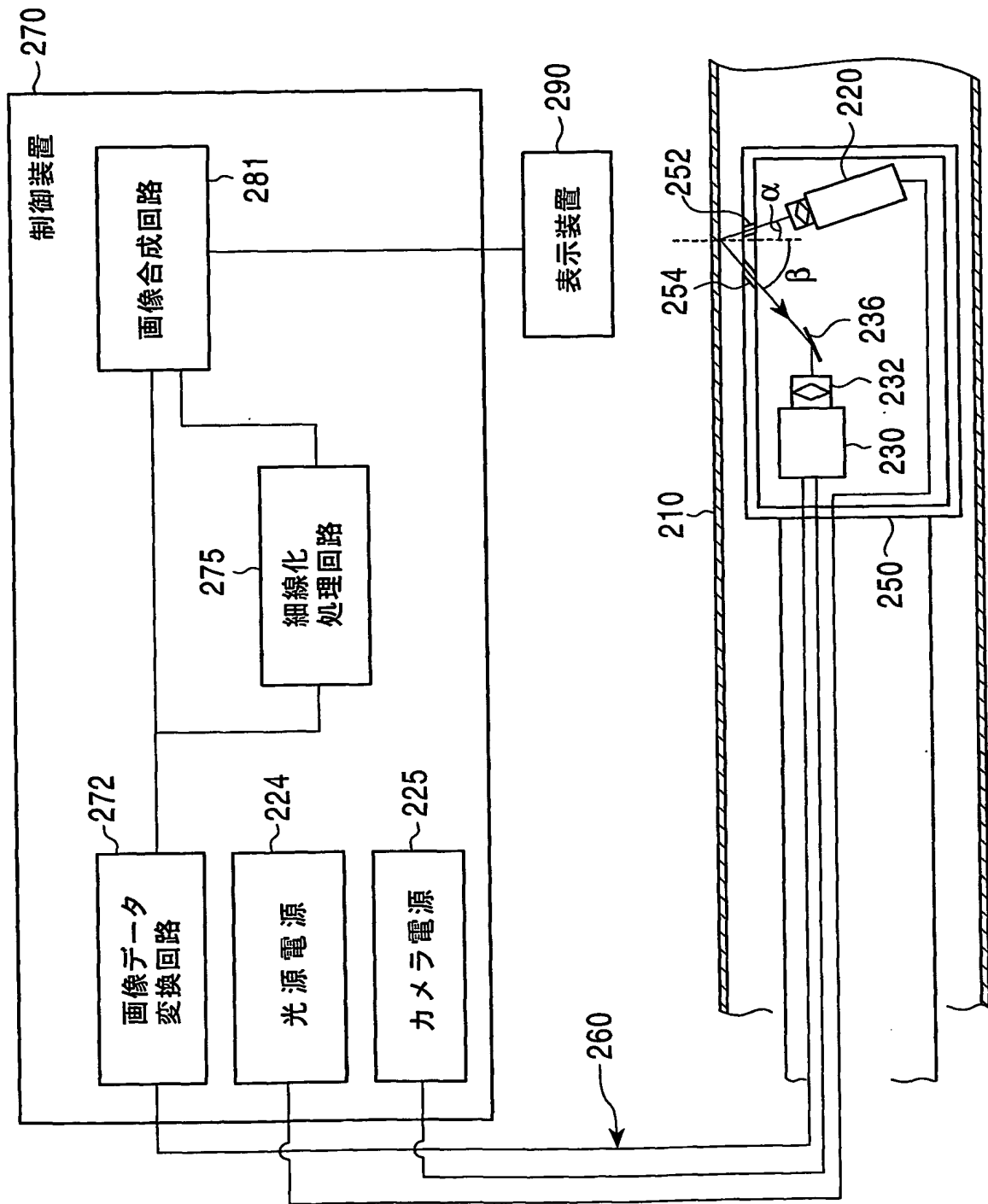
16 ☒

図 17

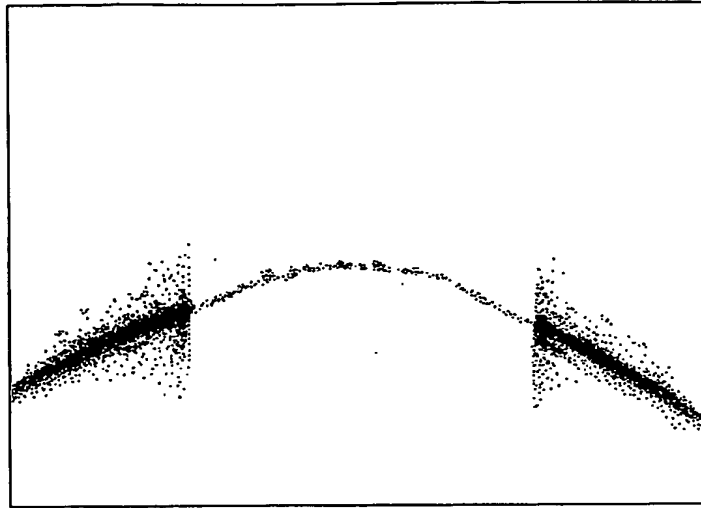


図 18

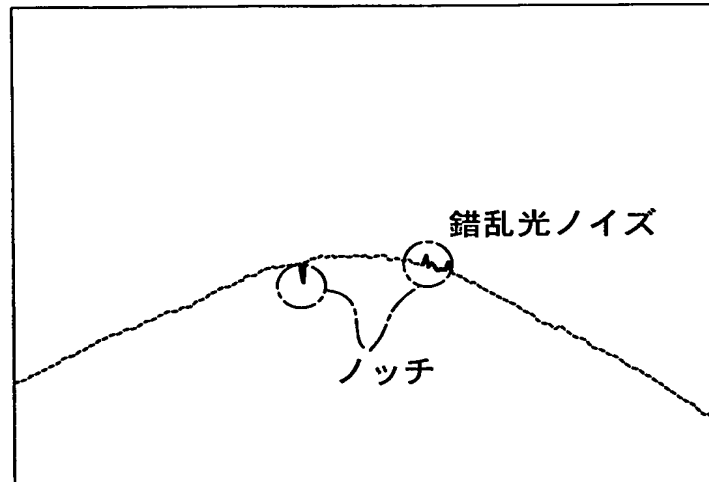


図 19

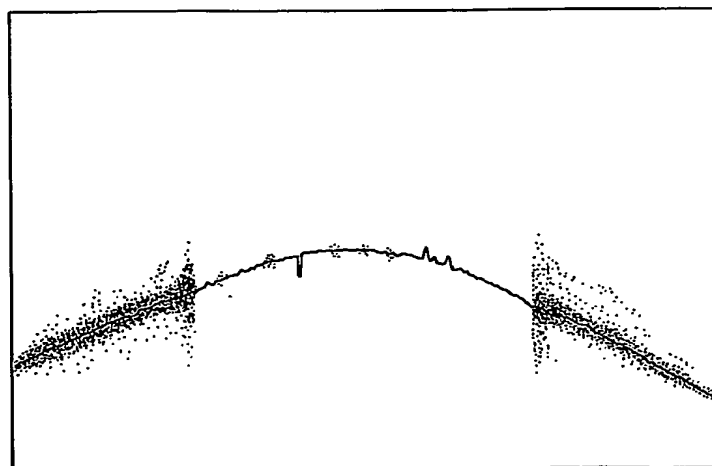


図 20

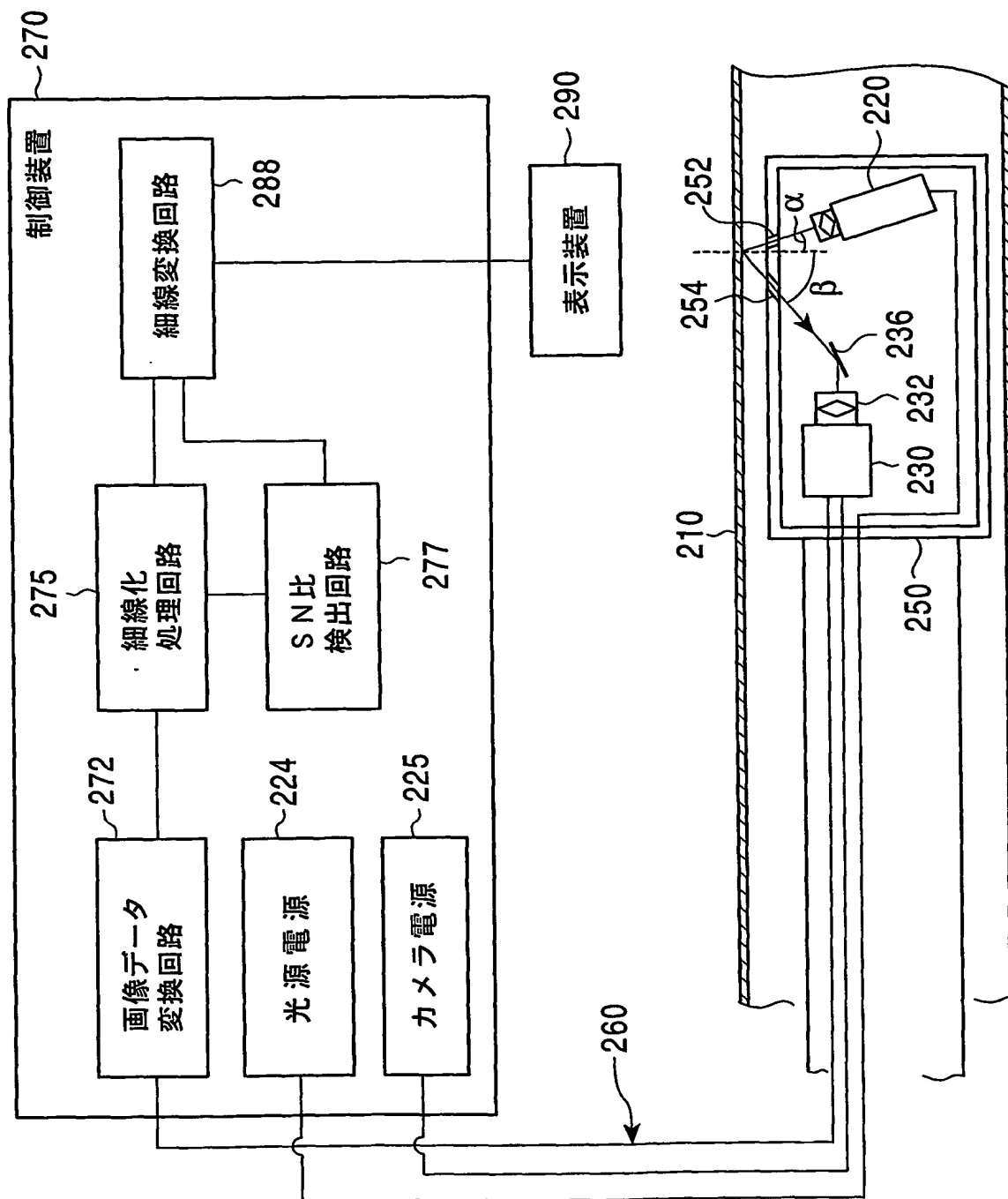


図 21

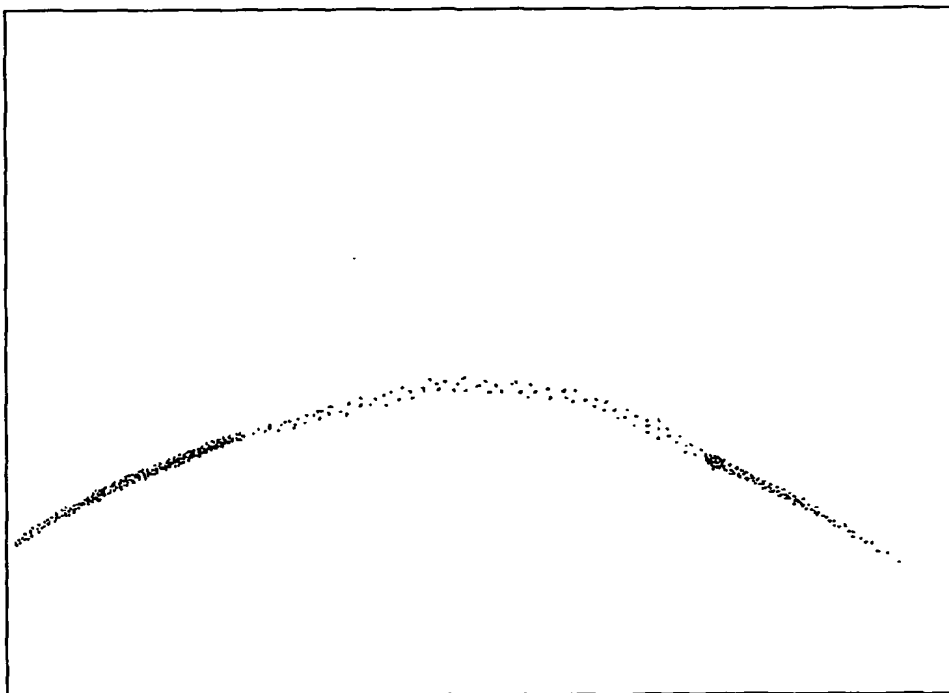


図 22

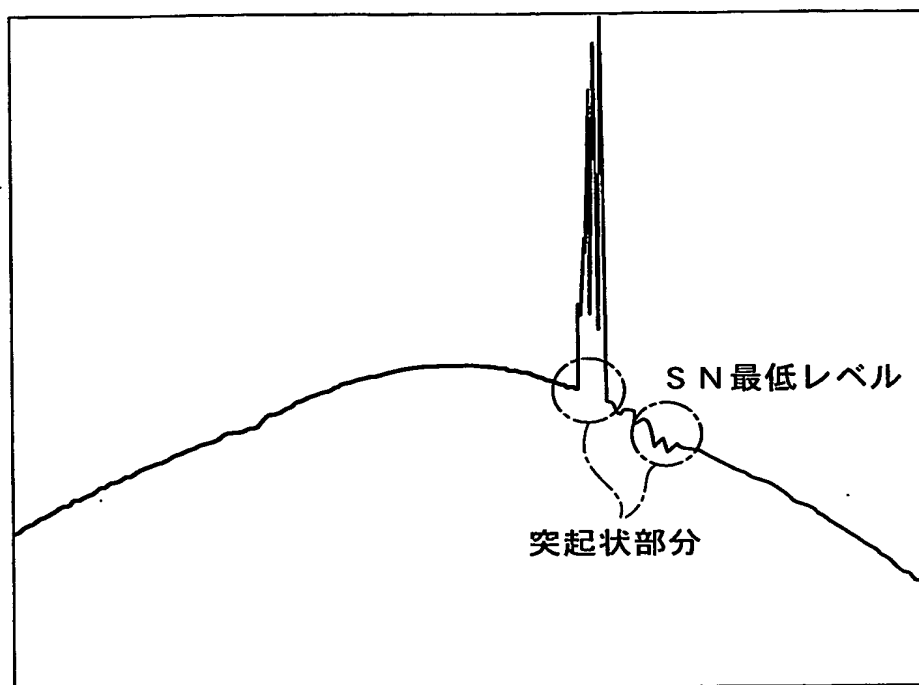


図 23

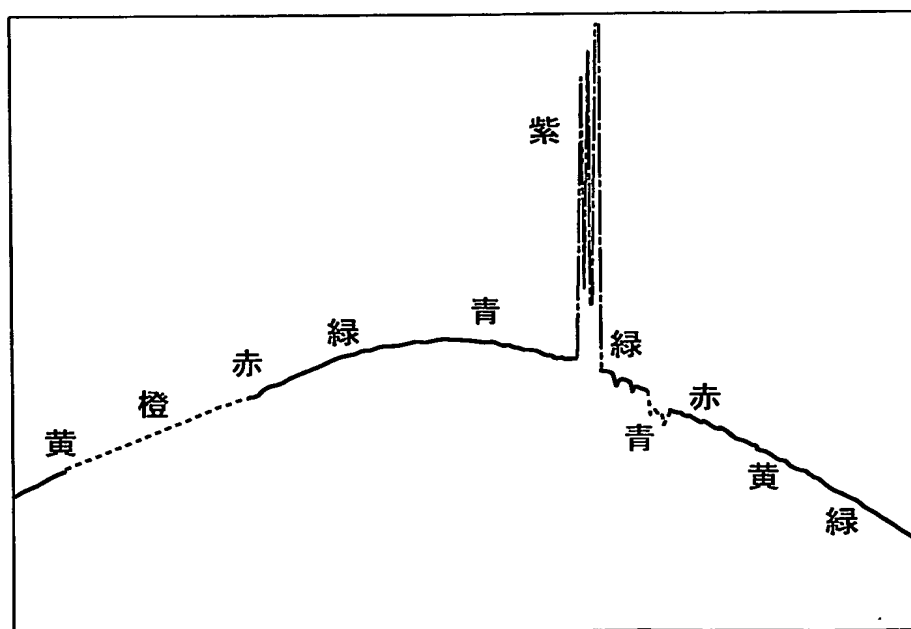


図 24

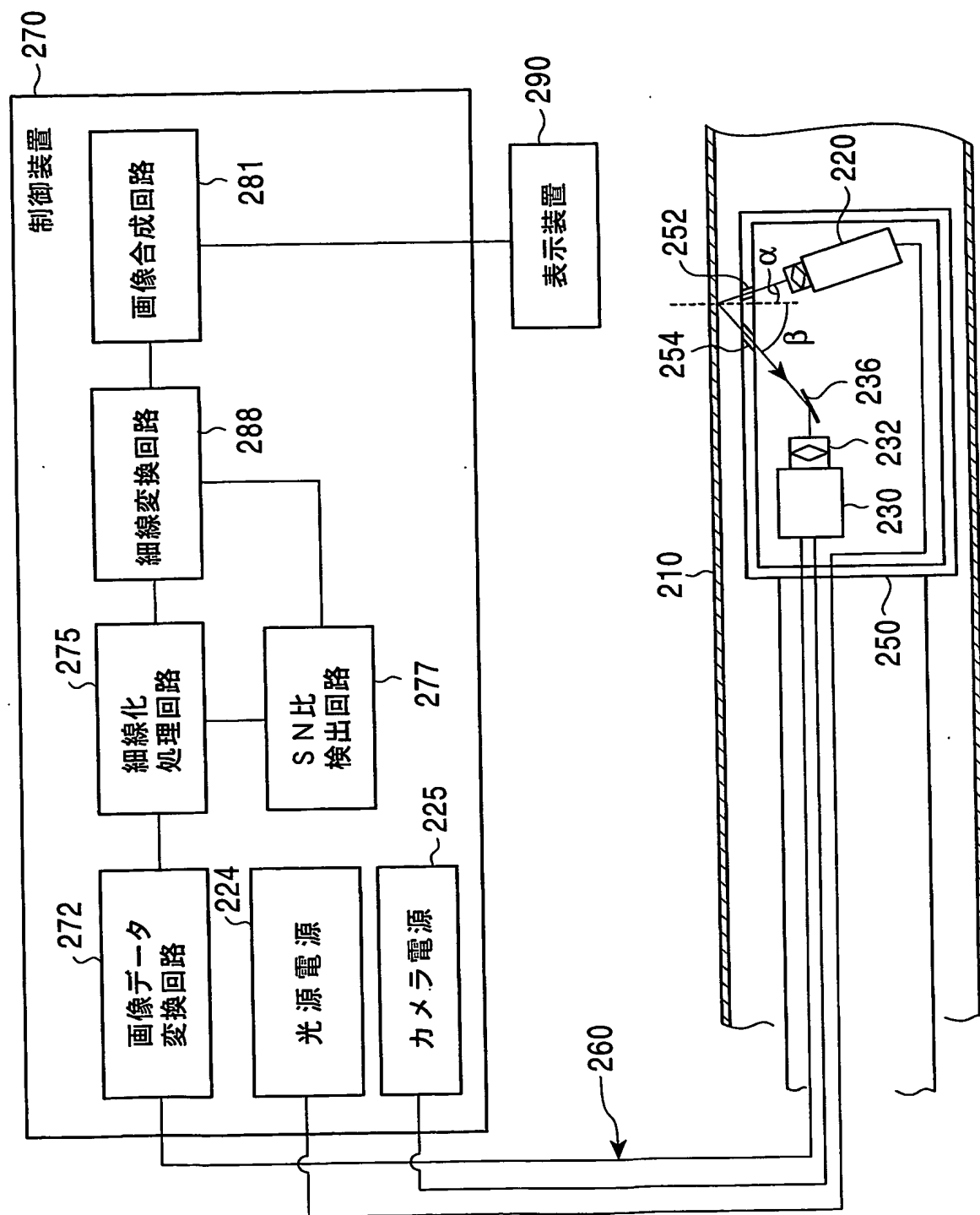


図 25

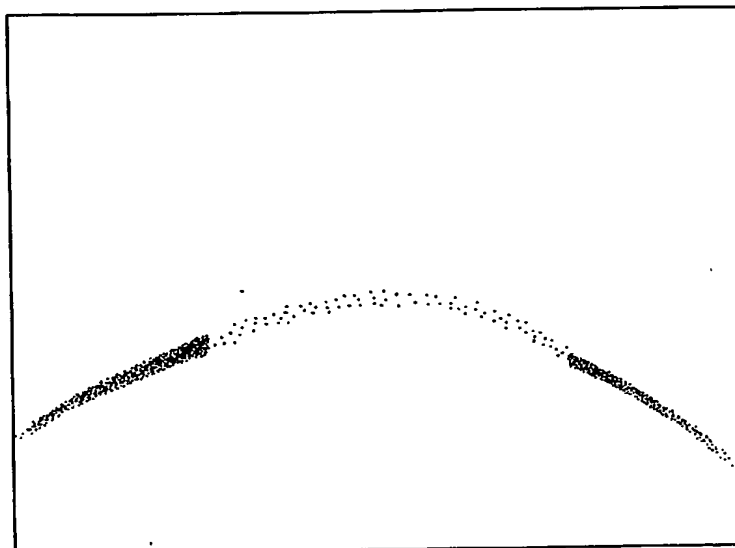


図 26

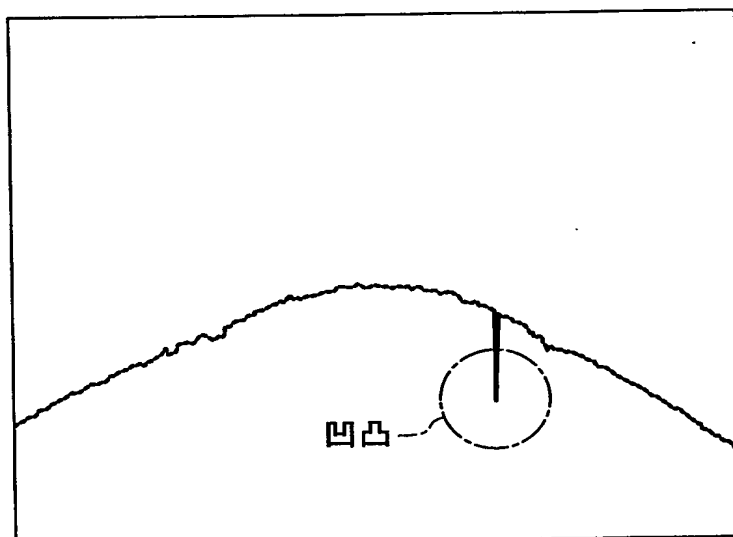


図 27

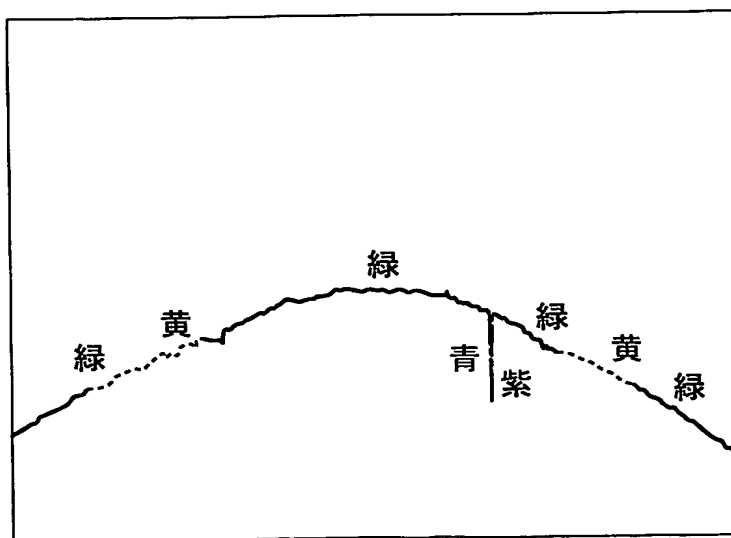


図 28

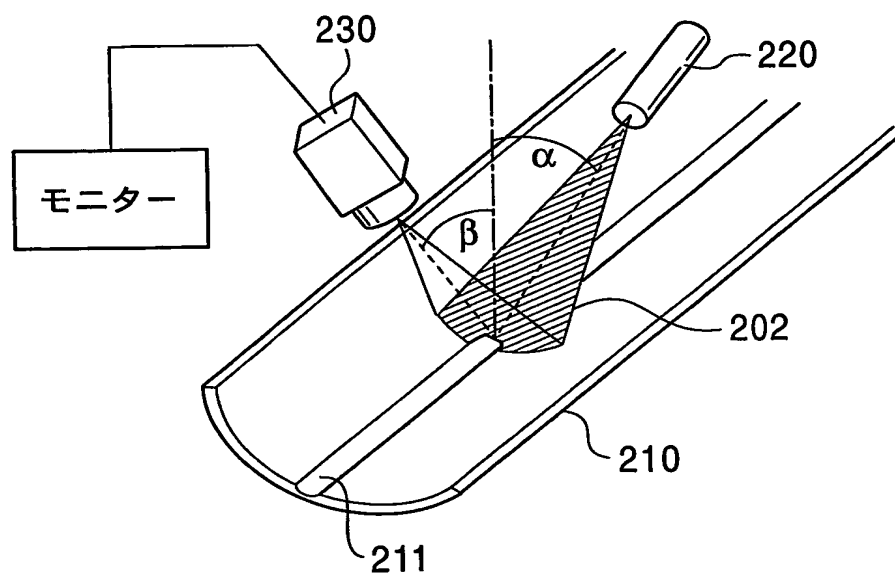
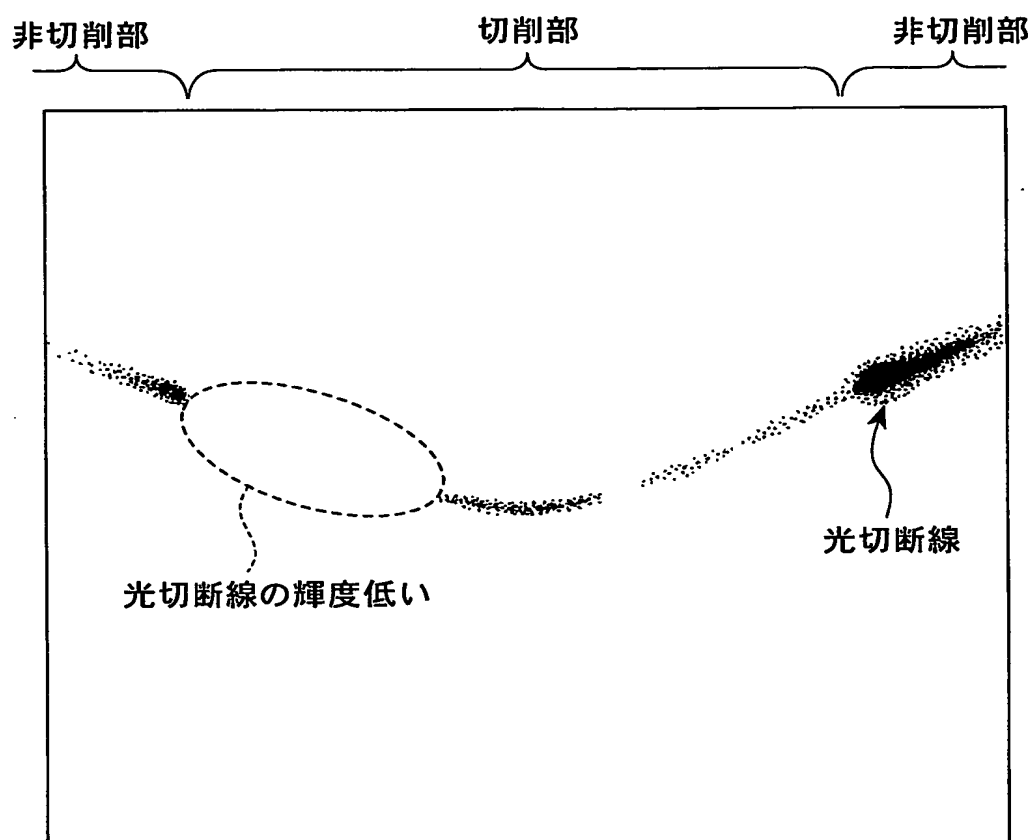


図 29



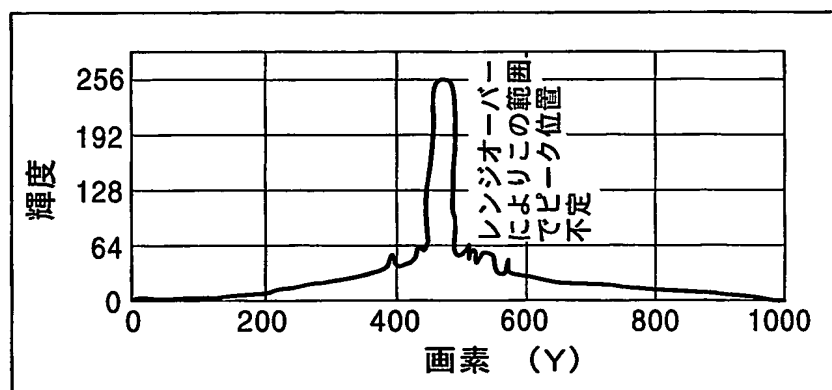


図 30

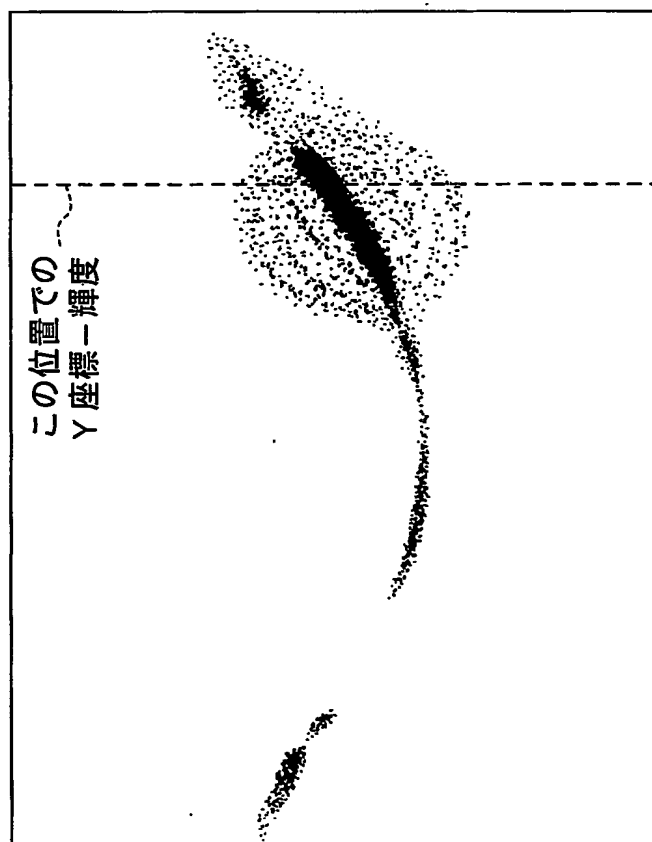


図 31

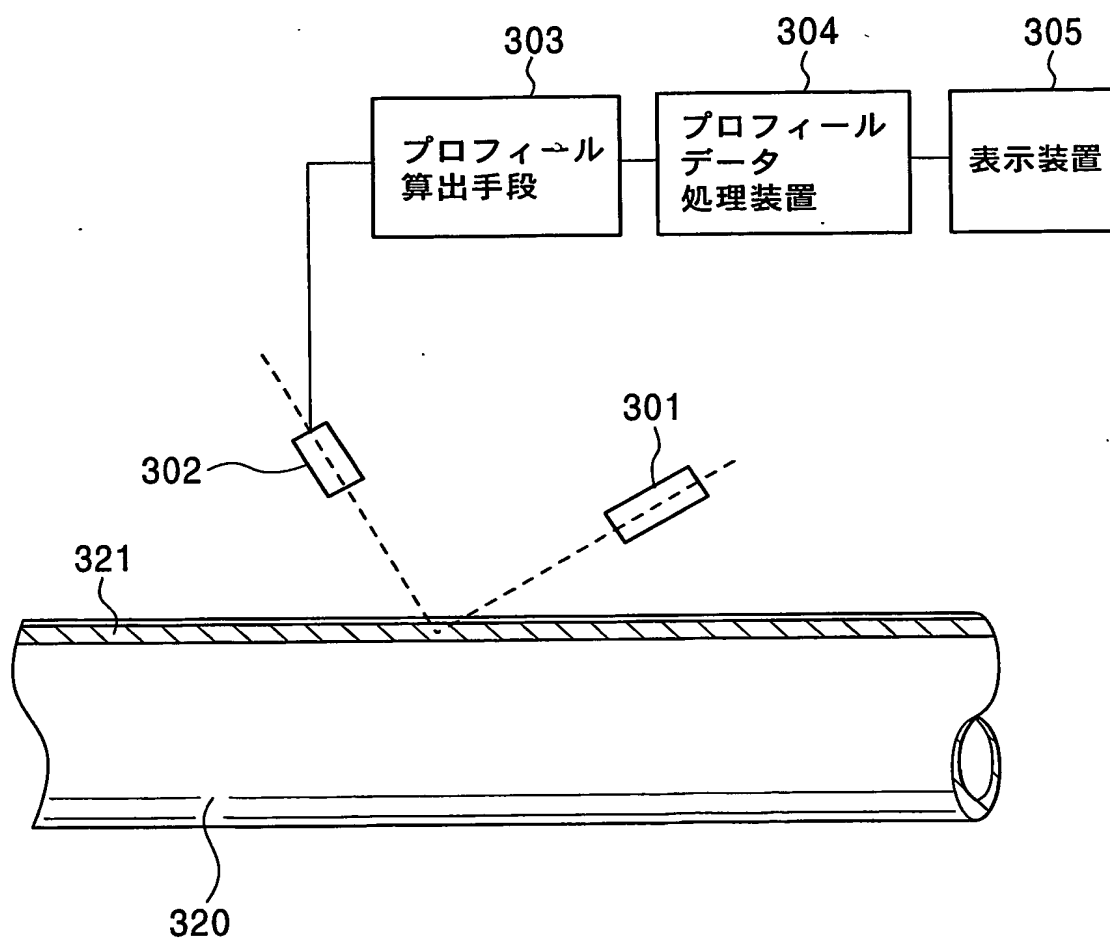


図 32

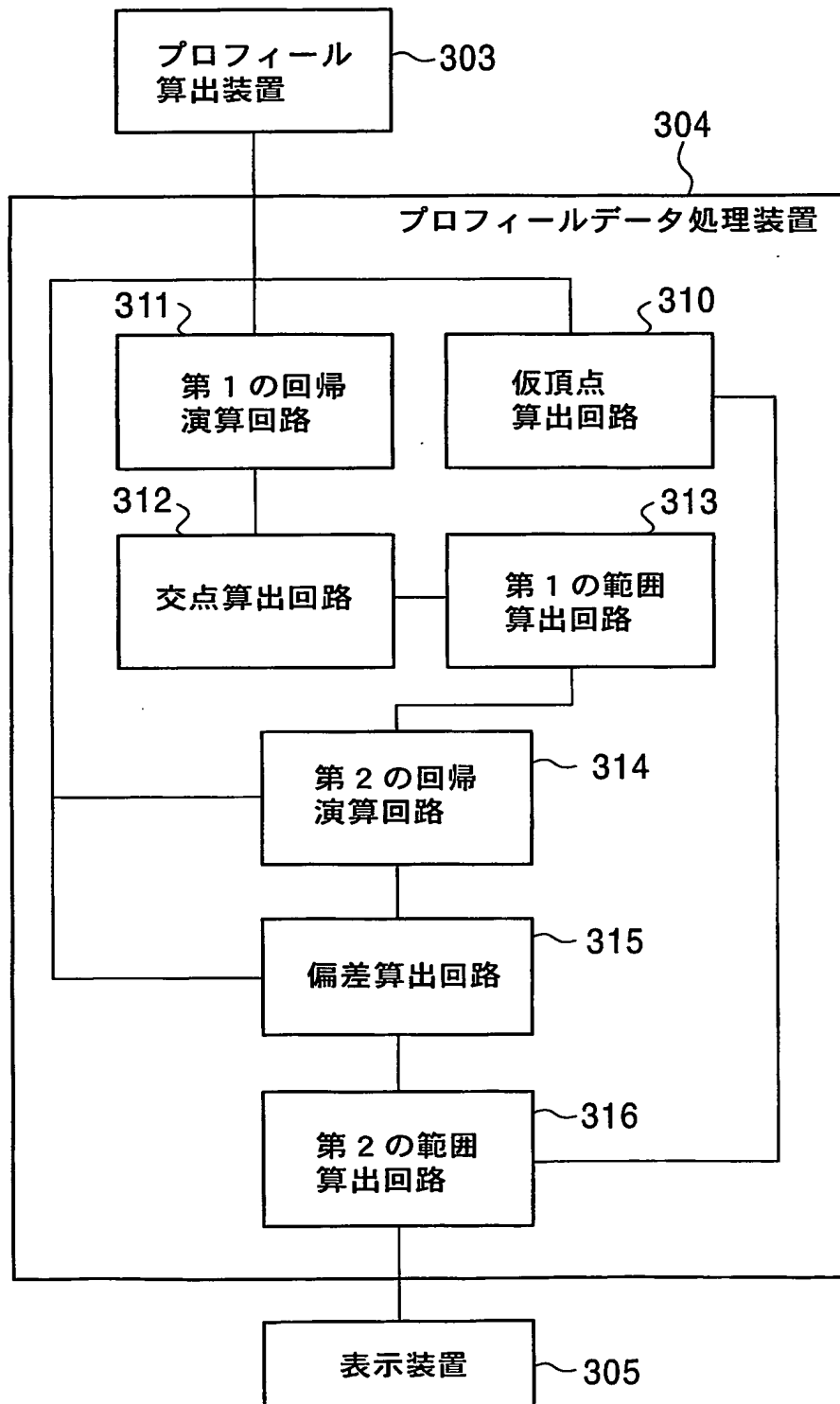


図 33

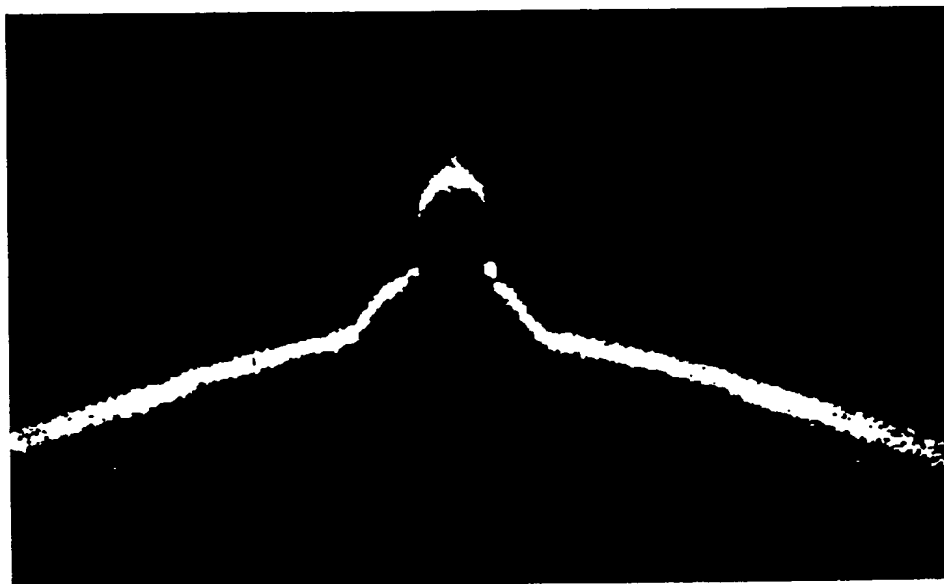


図 34

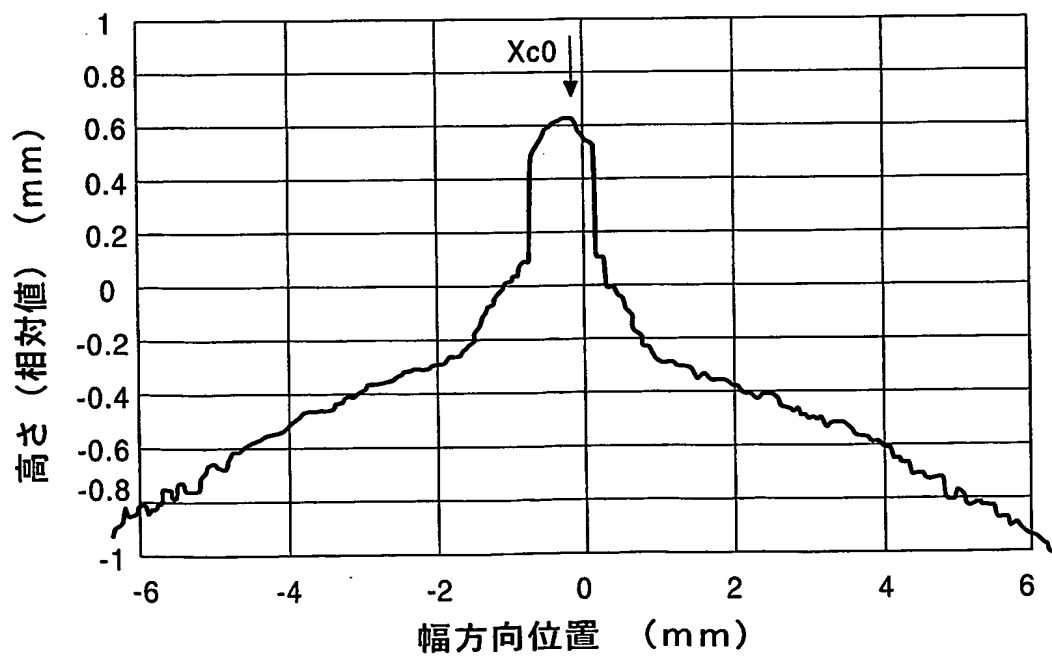


図 35

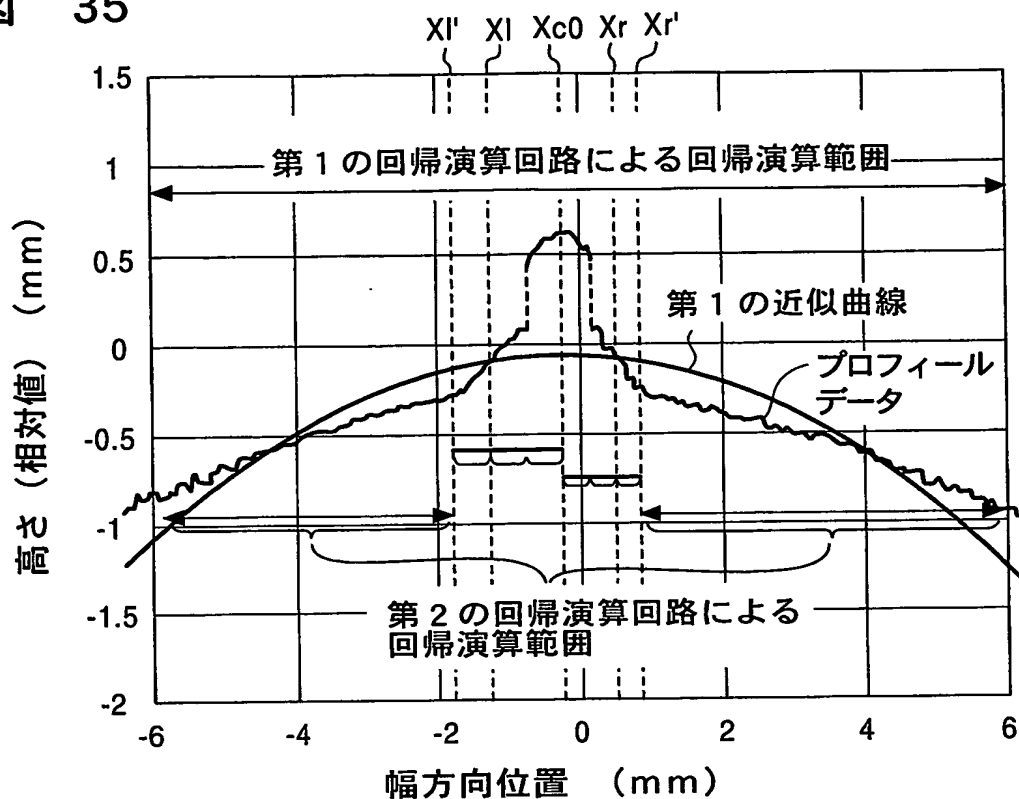


図 36

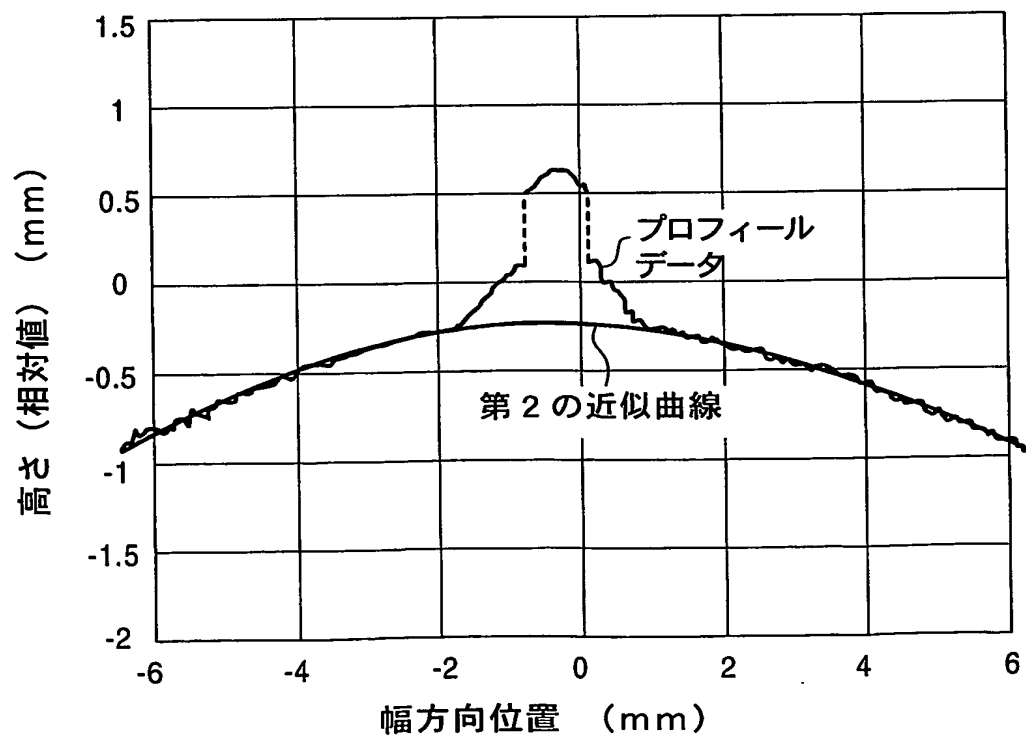


図 37

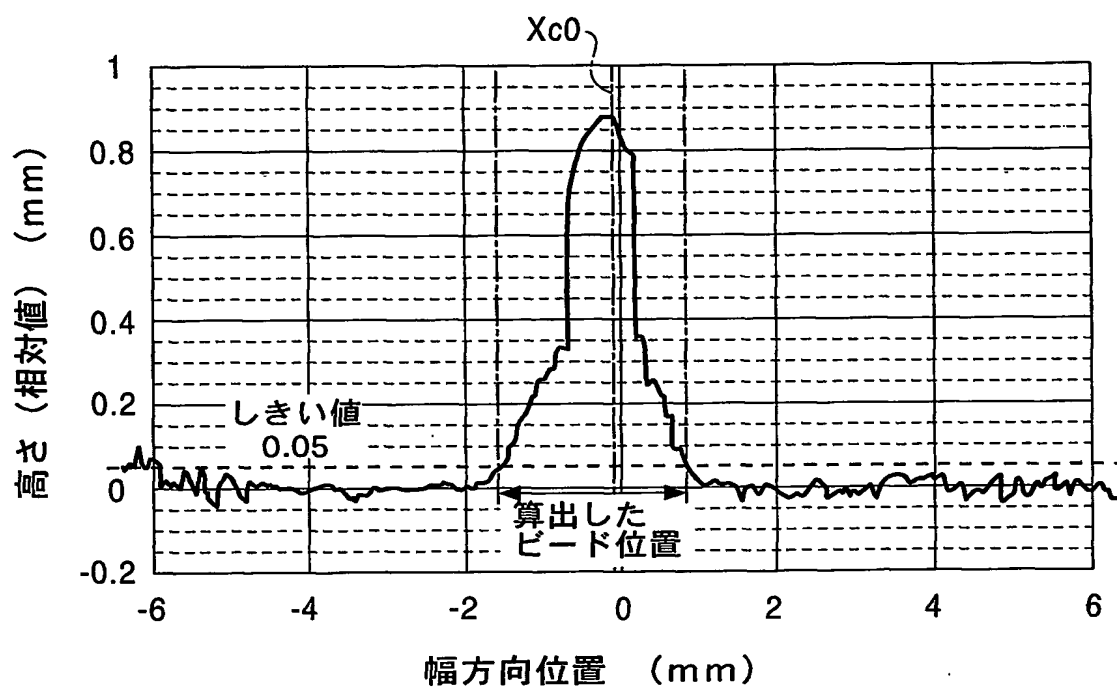


図 38

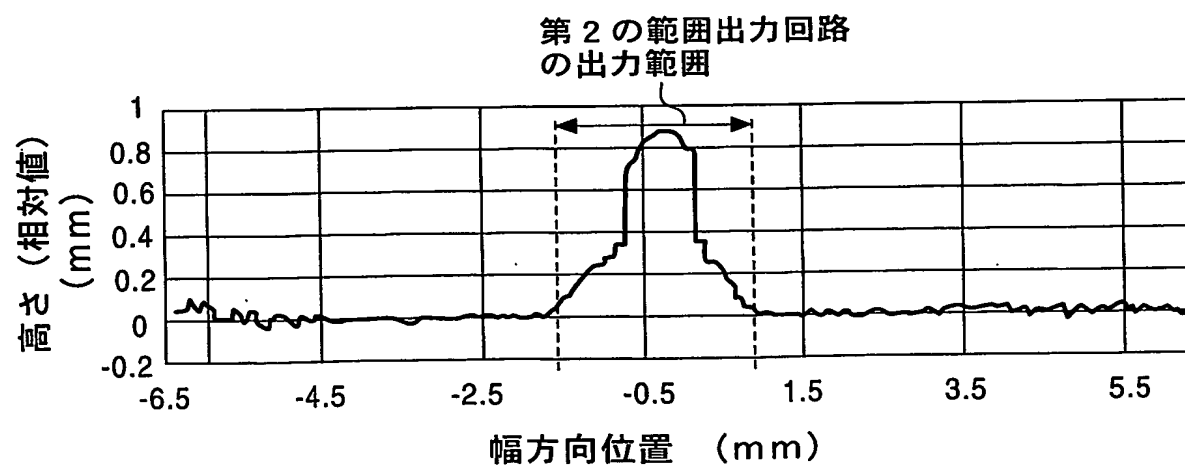
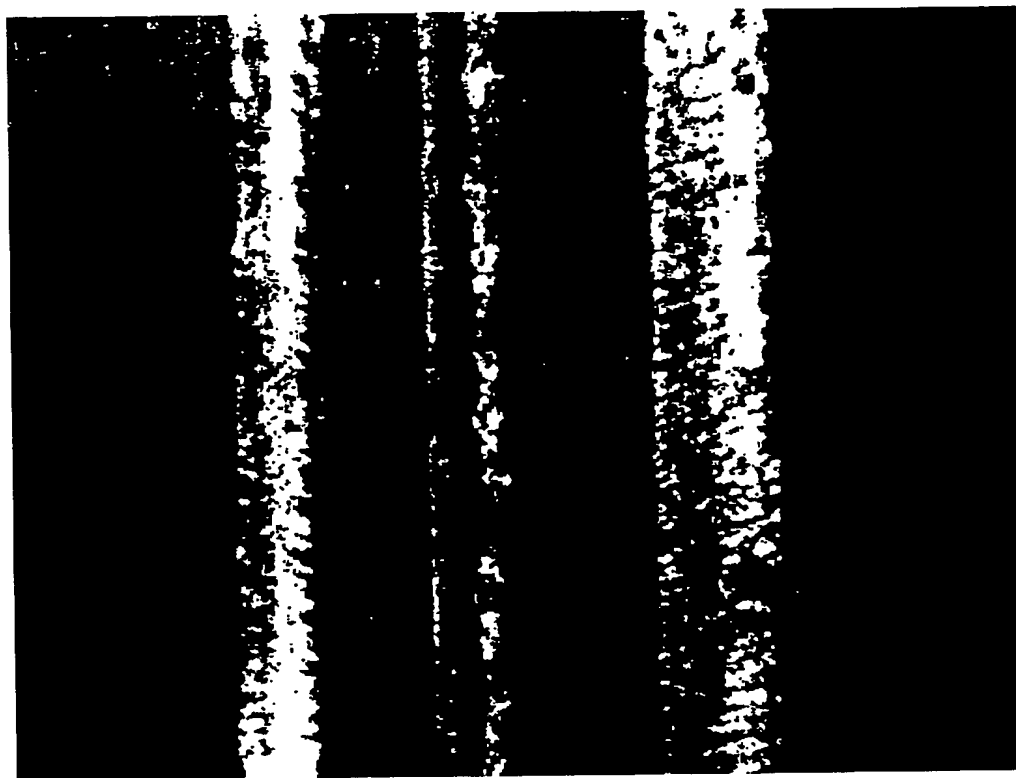


図 39

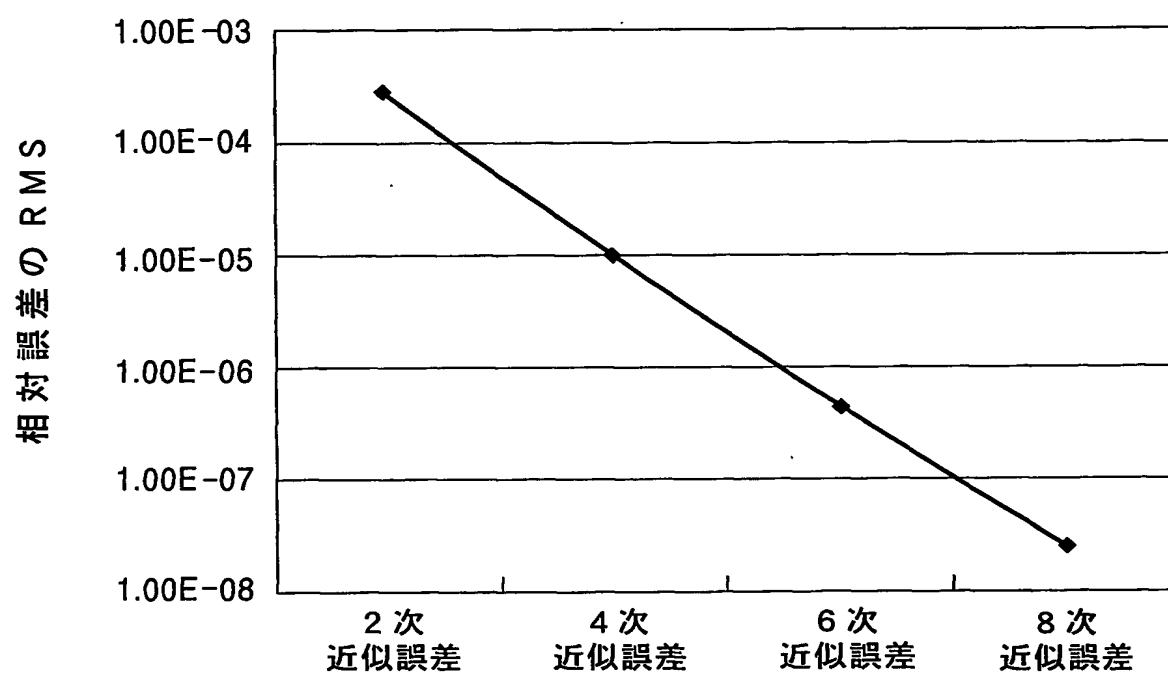


図 40

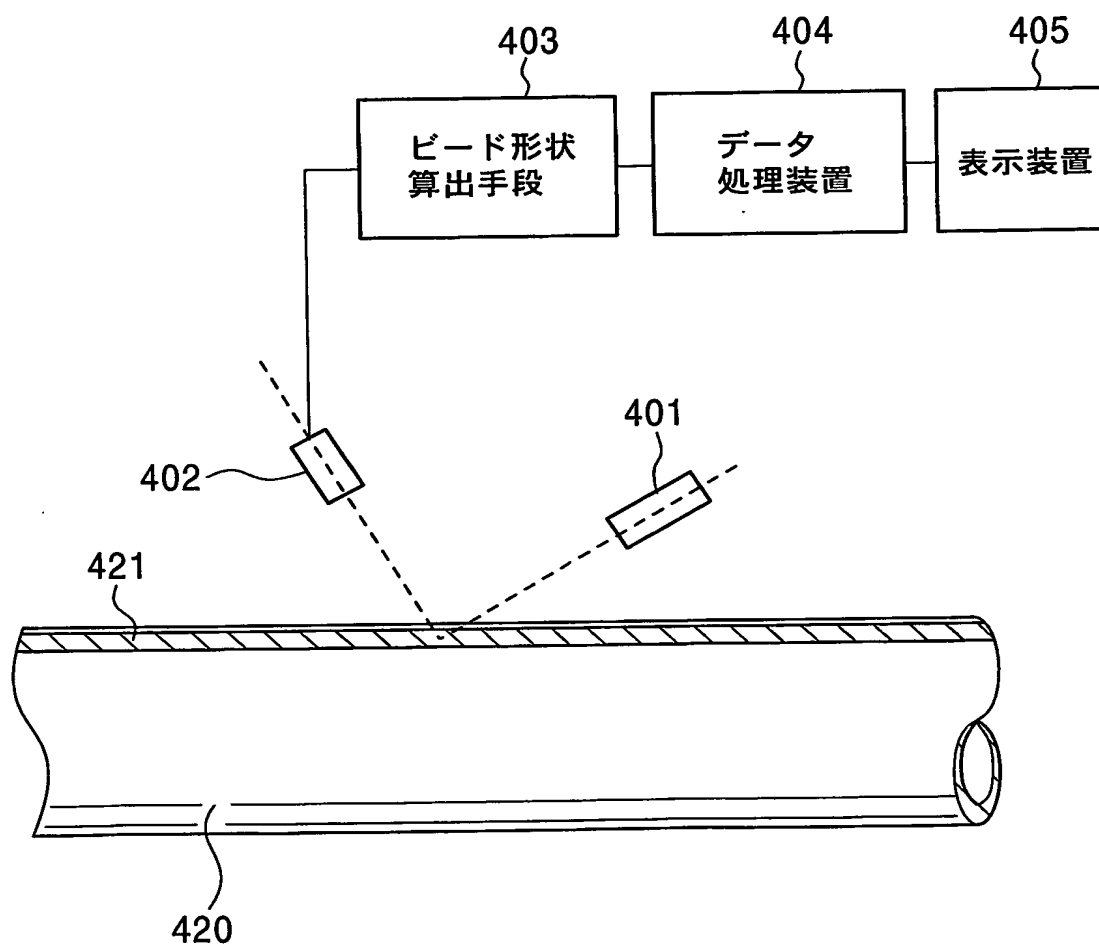


図 41

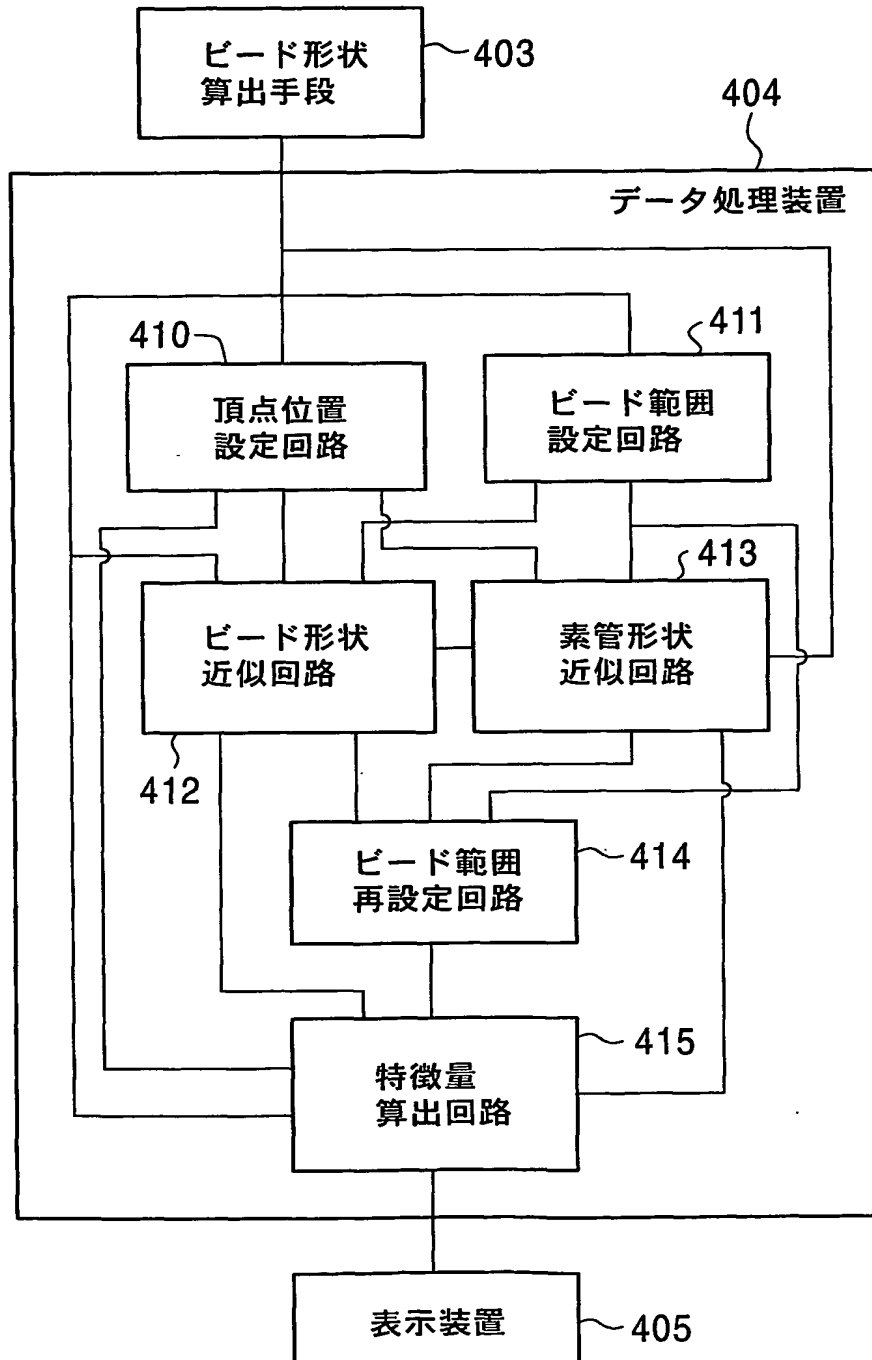


図 42

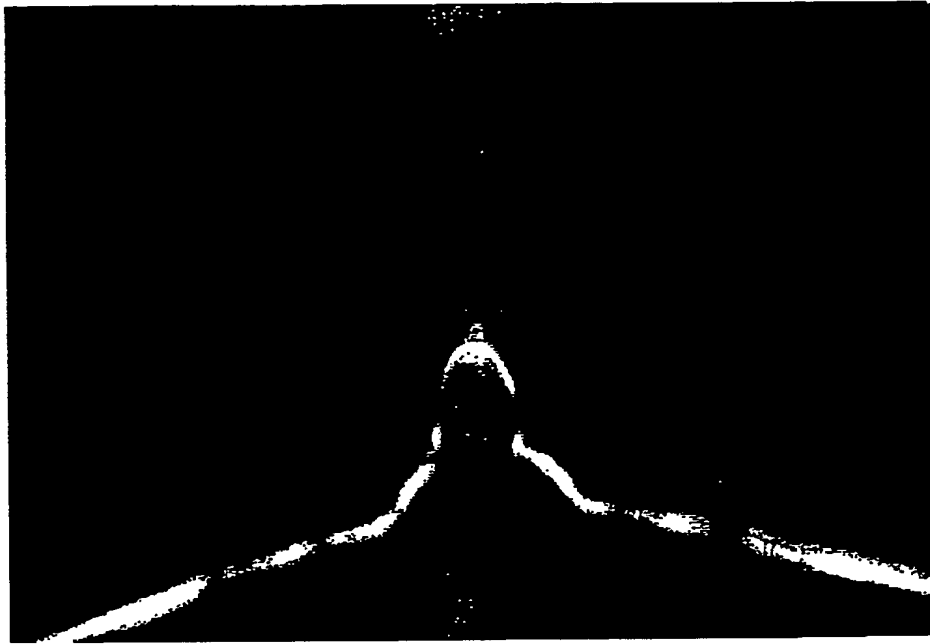


図 43

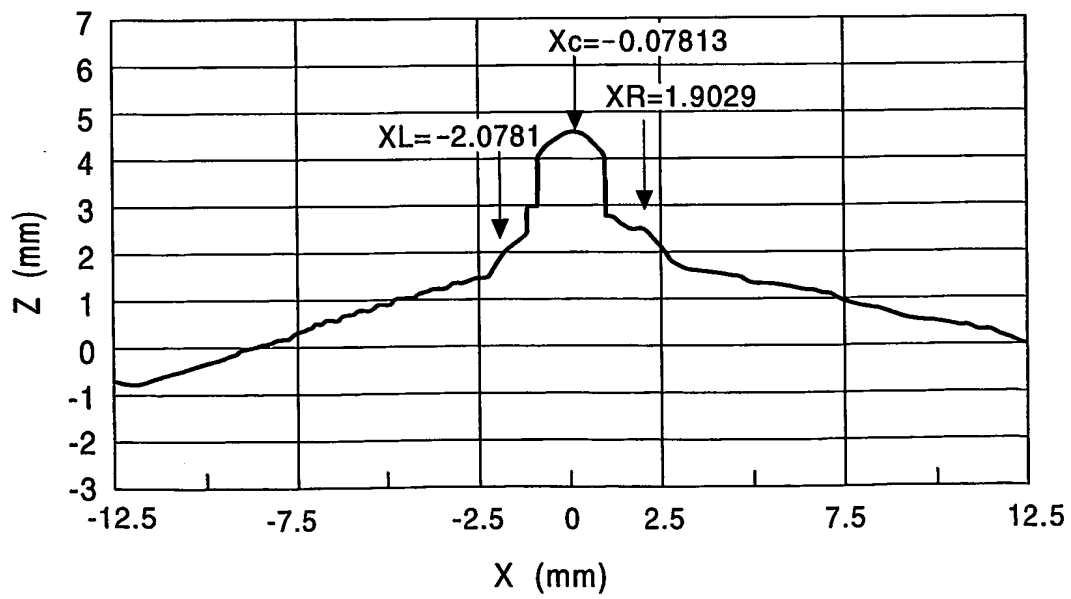


図 44

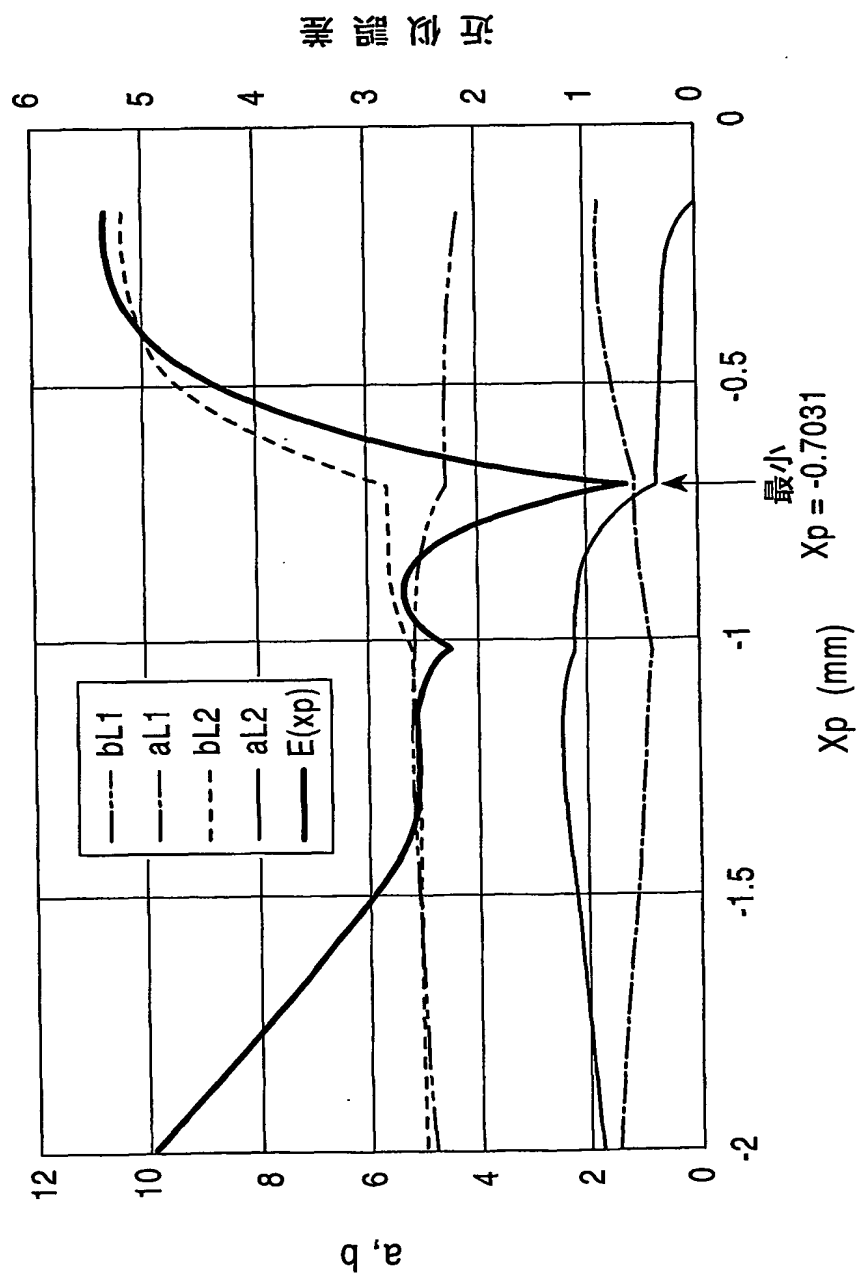


図 45

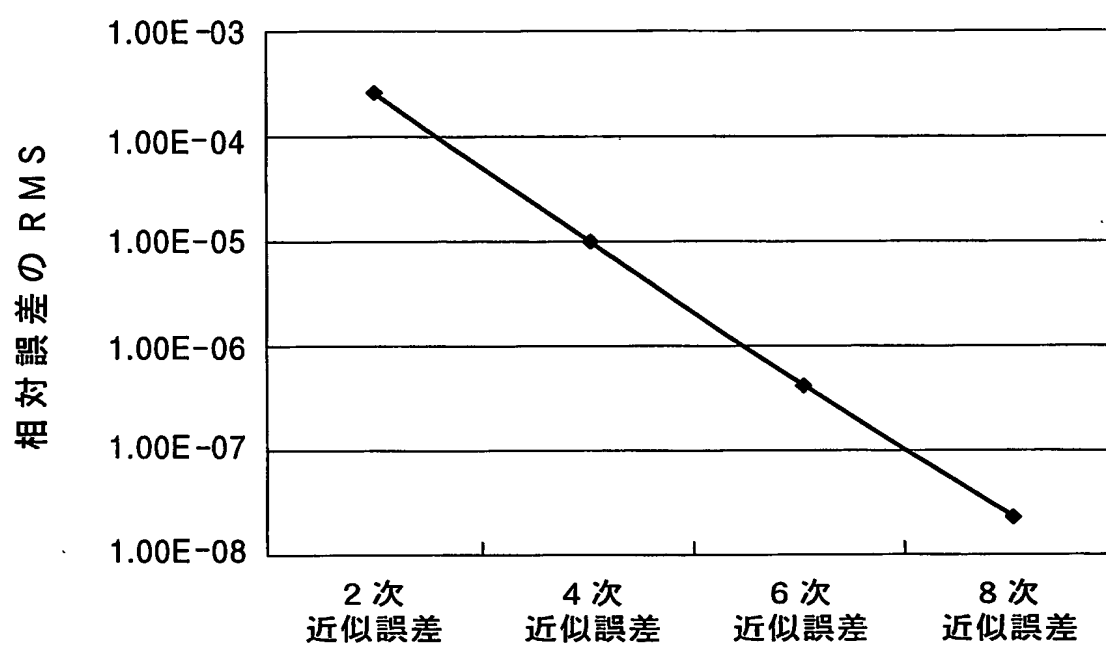
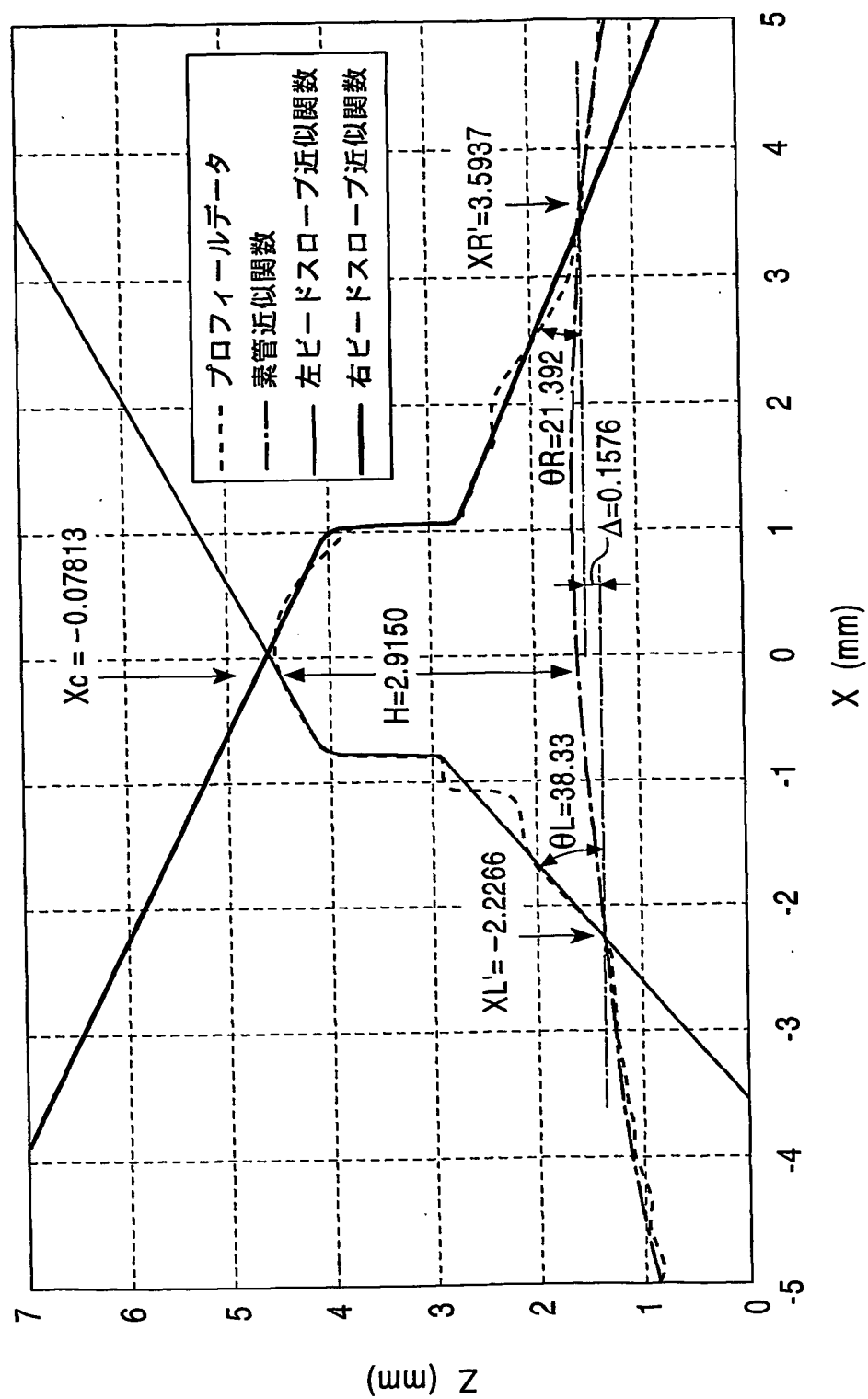


図 46



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05168

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G01B11/24, B21C37/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G01B11/24, B21C37/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 7-40049 A (Nippon Steel Corp.), 10 February, 1995 (10.02.95), Par. No. [0013]; Fig. 4 (Family: none)	5, 8 1-4, 6, 7, 9, 10
A	JP 8-292017 A (Tokai Rika Co., Ltd.), 05 November, 1996 (05.11.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-4
A	JP 5-138427 A (Kawasaki Steel Corp.), 01 June, 1993 (01.06.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-18



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 July, 2003 (25.07.03)

Date of mailing of the international search report
12 August, 2003 (12.08.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05168

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 9-89524 A (Kawasaki Steel Corp.), 04 April, 1997 (04.04.97), Full text; all drawings (Family: none)	11-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01B 11/24
B21C 37/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01B 11/24
B21C 37/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1992-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2003年
日本国実用新案登録公報 1996-2003年
日本国登録実用新案公報 1994-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 7-40049 A (新日本製鐵株式会社) 1995. 02. 10, 段落番号【0013】, 図4 (ファミリーなし)	5, 8
A		1-4, 6, 7, 9, 10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 07. 03

国際調査報告の発送日

12.08.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小野寺 麻美子



2S

9505

電話番号 03-3581-1101 内線 3256

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 8-292017 A (株式会社東海理化電機製作所) 1996. 11. 05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 5-138427 A (新日本製鐵株式会社) 1993. 06. 01, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18
A	JP 9-89524 A (川崎製鉄株式会社) 1997. 04. 04 , 全文, 全図 (ファミリーなし)	11-18

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.